

## 7.

## CECHY FIZYKOCHEMICZNE WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Najwyższym stężeniem związków biogennych w zlewni Starej Rzeki odznaczały się ciek, które były obciążane ściekami bytowymi: Stara Rzek, Kubaleniec i Leśny Potok. W Starej Rzece i Leśnym Potoku występowało bardzo wysokie stężenie jonu  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ , natomiast w Kubaleńcu –  $\text{NO}_3^-$ . Parametry te decydowały o zakwalifikowaniu tych cieków do III i IV klasy jakości wód (tab. 7.1). Dworski Potok, który drenował zlewnię rolniczą pozbawioną punktowych zanieczyszczeń z gospodarstw wiejskich oraz Leśny Górny Potok, którego zlewnia była w całości zalesiona, charakteryzowały się niskimi stężeniami związków biogennych (tab. 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6). Taka zależność stężenia związków biogennych od użytkowania i zagospodarowania terenu jest często prezentowana w literaturze (Taylor i in. 1971, Omernik 1977, Muscutt, Whithers 1996, Rinella, Janet 1998, Pekarova i in. 1999, Ferrier i in. 2001 oraz Clark i in. 2004). Na tle wód powierzchniowych Pogórza Wielickiego i Wiśnickiego, wody Starej Rzeki charakteryzowały się wysokimi stężeniami związków biogennych, a w szczególności jonu  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  (ryc. 7.1).

Tabela 7.1. Klasy jakości wód powierzchniowych w zlewni Starej Rzeki i w jej zlewniach częstowych (Dz.U., nr 32, poz. 284)

Table 7.1. Streamwater quality classes of Stara Rzek and of its tributaries (Dz.U., nr 32, poz. 284)

Zlewnia	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$
Stara Rzek	III	III	II	III
Kubaleniec	I	III	IV	II
Leśny Górny Potok	I	II	II	I
Dworski Potok	II	II	II	I
Leśny Potok	II	III	II	III

*Objaśnienia:* klasa I – bardzo dobra, klasa II – dobra, klasa III – zadowalająca, klasa IV – niezadowalająca, klasa V – zła.

Tabela 7.2. Charakterystyka statystyczna parametrów fizykochemicznych Starej Rzeki oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2002-2004

Table 7.2. Statistical characteristics of the Stara Rzeki streamwater chemical composition and number of samples (n) collected in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Jednostka	Cecha	2002	2003	2004
SEC	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	453 (364) 427 - 480 249 - 557	505 (364) 468 - 531 252 - 659	546 (366) 506,3 - 575 255 - 758
Odczyn	(pH)	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,72 (151) 7,66 - 7,79 7,30 - 8,03	7,68 (364) 7,59 - 7,78 7,23 - 8,26	7,70 (366) 7,10 - 8,08 7,60 - 7,78
$\text{NH}_4^+$	[ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,174 (36) 0,050 - 0,306 0,013 - 0,860	0,465 (27) 0,387 - 0,697 0,008 - 2,460	0,335 (29) 0,195 - 0,690 0,008 - 1,840
$\text{NO}_2^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,059 (36) 0,049 - 0,092 0,015 - 0,199	0,084 (27) 0,056 - 0,163 0,015 - 0,483	0,089 (29) 0,058 - 0,123 0,038 - 0,236
$\text{NO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	4,55 (36) 3,80 - 6,00 2,30 - 12,60	5,75 (28) 4,10 - 7,90 1,40 - 13,10	4,8 (29) 3,40 - 7,50 1,10 - 19,90
$\text{PO}_4^{3-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,160 (37) 0,110 - 0,200 0,050 - 0,520	0,240 (27) 0,125 - 0,450 0,080 - 0,970	0,330 (29) 0,210 - 0,390 0,140 - 0,670
$\text{Fe}_{\text{og.}}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	— — —	0,49 (23) 0,40 - 0,53 0,29 - 0,68	0,48 (24) 0,33 - 0,64 0,16 - 0,83
$\text{Ca}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	61,7 (52) 58,1 - 66,4 35,9 - 75,9	58,63 (52) 53,2 - 61,9 26,7 - 76,1	60,8 (52) 56,0 - 66,9 37,9 - 76,1
$\text{Mg}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	15,8 (52) 14,8 - 16,7 10,7 - 19,1	15,9 (52) 14,6 - 17,1 8,0 - 26,0	17,0 (52) 14,6 - 18,3 10,2 - 21,5
$\text{Na}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	17,0 (52) 16,3 - 18,2 11,1 - 21,0	17,79 (52) 15,3 - 19,8 9,1 - 26,8	19,87 (52) 18,0 - 21,9 12,7 - 25,1
$\text{K}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	3,5 (52) 2,8 - 4,4 2,2 - 6,5	3,6 (52) 2,8 - 5,4 2,4 - 8,4	4,8 (52) 4,1 - 5,3 3,2 - 7,7
$\text{HCO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	212,9 (52) 198,7 - 239,4 109,8 - 276,9	215,3 (52) 185,4 - 231,8 84,2 - 295,2	212,3 (52) 174,2 - 230,0 85,4 - 259,7
$\text{SO}_4^{2-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	53,5 (52) 48,6 - 56,4 29,8 - 70,4	55,5 (49) 50,8 - 58,6 33,9 - 72,4	62,8 (52) 56,7 - 85,1 38,1 - 116,0
$\text{Cl}^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	20,0 (52) 18,2 - 21,2 13,4 - 25,3	18,7 (49) 18,0 - 21,4 13,9 - 47,1	21,3 (52) 20,4 - 23,7 15,3 - 34,8
Twardość ogólna	[ $\text{mval}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	Mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	4,54 (52) 4,24 - 4,71 2,96 - 5,72	4,46 (48) 4,09 - 4,65 2,12 - 5,54	4,74 (52) 4,43 - 5,01 3,00 - 6,06
Twardość węglanowa		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	— — —	3,52 (51) 3,04 - 3,80 1,38 - 4,84	3,48 (52) 2,86 - 3,77 1,40 - 4,26

Tabela 7.3. Charakterystyka statystyczna parametrów fizykochemicznych Kubaleńca oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2002-2004

Table 7.3. Statistical characteristics of the Kubaleniec streamwater chemical composition and number of samples (n) collected in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Jednostka	Cecha	2002	2003	2004
SEC	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	502 (365) 453 - 604 208 - 1118	570 (338) 503 - 1127 126 - 1455	919 (362) 605,8 - 1126,5 230 - 1447
Odczyn	(pH)	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,72 (151) 7,61 - 7,89 7,09 - 8,09	7,71 (338) 7,61 - 7,87 7,27 - 8,12	7,71 (363) 7,52 - 7,87 7,11 - 8,07
$\text{NH}_4^+$	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,053 (33) 0,022 - 0,094 0,008 - 0,480	0,188 (26) 0,108 - 0,230 0,032 - 0,780	0,081 (29) 0,034 - 0,136 0,008 - 1,290
$\text{NO}_2^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,027 (36) 0,023 - 0,048 0,015 - 0,209	0,082 (27) 0,038 - 0,241 0,015 - 0,857	0,059 (29) 0,033 - 0,092 0,015 - 0,478
$\text{NO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	4,70 (36) 3,28 - 6,95 2,30 - 37,30	7,20 (27) 4,05 - 25,40 1,10 - 39,50	16,50 (29) 10,30 - 24,40 2,90 - 44,80
$\text{PO}_4^{3-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,090 (36) 0,060 - 0,173 0,050 - 0,500	0,110 (27) 0,065 - 0,300 0,050 - 0,540	0,250 (29) 0,160 - 0,320 0,090 - 0,440
$\text{Fe}_{\text{og.}}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	—	0,17 (22) 0,05 - 0,25 0,01 - 0,39	0,06 (24) 0,02 - 0,10 0,01 - 0,52
$\text{Ca}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	68,1 (52) 56,2 - 79,6 28,3 - 128,9	71,8 (49) 61,9 - 115,6 15,1 - 167,6	93,2 (52) 67,7 - 128,3 33,0 - 173,9
$\text{Mg}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	15,4 (52) 13,5 - 18,3 6,9 - 28,1	16,5 (49) 13,7 - 26,5 5,2 - 37,8	19,9 (52) 14,6 - 27,3 7,8 - 35,3
$\text{Na}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	24,1 (52) 19,6 - 32,9 10,1 - 51,6	26,4 (49) 20,5 - 50,4 4,7 - 66,4	44,9 (52) 28,8 - 54,2 12,5 - 69,2
$\text{K}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	3,4 (52) 3,1 - 4,3 2,4 - 9,4	3,4 (49) 2,6 - 5,2 2,1 - 10,6	4,4 (52) 4,0 - 4,8 3,1 - 6,6
$\text{HCO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	220,8 (52) 194,3 - 254,4 104,9 - 318,4	251,3 (49) 224,5 - 308,7 54,9 - 375,8	256,2 (52) 155,9 - 307,4 72,0 - 341,6
$\text{SO}_4^{2-}$	[mval·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	48,5 (52) 41,6 - 69,6 23,9 - 113,2	51,7 (46) 44,9 - 113,8 19,0 - 199,7	106,8 (52) 80,4 - 154,3 57,9 - 246,1
$\text{Cl}^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	29,6 (52) 25,6 - 43,7 14,8 - 114,3	27,7 (46) 23,3 - 103,0 6,8 - 190,7	71,9 (52) 36,7 - 115,8 17,9 - 166,4
Twardość ogólna		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	4,65 (52) 4,13 - 5,60 2,20 - 9,12	4,88 (45) 4,30 - 7,80 1,36 - 12,08	6,56 (52) 4,78 - 9,47 2,64 - 12,20
Twardość węglanowa		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	—	4,12 (49) 3,68 - 5,06 0,90 - 6,16	4,20 (52) 2,56 - 5,04 1,18 - 5,60

Tabela 7.4. Charakterystyka statystyczna parametrów fizykochemicznych Leśnego Górnego Potoku oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2003 i 2004

Table 7.4. Statistical characteristics of the Leśny Górny Potok streamwater chemical composition and number of samples (n) collected in 2003 and 2004 hydrological years

Parametr	Jednostka	Cecha	2003	2004
SEC	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	419 (35) 383,5 - 460,5 209 - 489	441 (37) 417 - 475 244 - 498
Odczyn	(pH)	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,89 (35) 7,78 - 7,96 7,20 - 8,11	7,92 (37) 7,84 - 8,01 7,27 - 8,10
$\text{NH}_4^+$	[ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,121 (27) 0,077 - 0,164 0,008 - 0,940	0,045 (28) 0,024 - 0,085 0,008 - 1,450
$\text{NO}_2^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,038 (27) 0,018 - 0,051 0,015 - 0,103	0,015 (28) 0,015 - 0,023 0,015 - 0,058
$\text{NO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	3,80 (28) 2,50 - 4,00 0,80 - 12,60	1,90 (28) 1,10 - 4,00 0,80 - 14,00
$\text{PO}_4^{3-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,080 (27) 0,045 - 0,105 0,050 - 0,260	0,070 (28) 0,058 - 0,103 0,050 - 0,140
$\text{Fe}_{\text{og.}}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,29 (25) 0,19 - 0,36 0,15 - 0,46	0,22 (24) 0,18 - 0,28 0,01 - 0,52
$\text{Ca}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	43,9 (33) 39,7 - 48,1 16,0 - 53,3	47,0 (37) 44,4 - 52,9 26,6 - 58,9
$\text{Mg}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	16,7 (33) 15,0 - 18,6 7,9 - 20,8	18,3 (37) 17,5 - 19,2 8,3 - 20,1
$\text{Na}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	9,7 (33) 9,0 - 10,8 4,7 - 11,9	10,3 (37) 9,8 - 11,2 6,4 - 12,6
$\text{K}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	1,6 (33) 1,5 - 1,8 1,3 - 4,4	1,9 (37) 1,7 - 2,3 1,2 - 3,0
$\text{HCO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	161,0 (33) 148,8 - 202,5 48,8 - 219,6	190,3 (37) 173,2 - 207,4 61,0 - 231,8
$\text{SO}_4^{2-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	61,9 (30) 57,8 - 65,5 31,2 - 73,7	62,0 (37) 58,7 - 68,1 46,9 - 74,2
$\text{Cl}^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,7 (30) 6,6 - 8,3 5,1 - 12,2	7,7 (37) 7,4 - 8,2 6,3 - 9,1
Twardość ogólna	[ $\text{mval}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	3,84 (30) 3,46 - 4,32 1,60 - 4,68	4,30 (37) 4,02 - 4,52 2,16 - 5,00
Twardość węglanowa		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	2,64 (33) 2,44 - 3,32 0,80 - 3,60	3,12 (37) 2,84 - 3,40 1,00 - 3,80

Tabela 7.5. Charakterystyka statystyczna parametrów fizykochemicznych Leśnego Potoku oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2002-2004

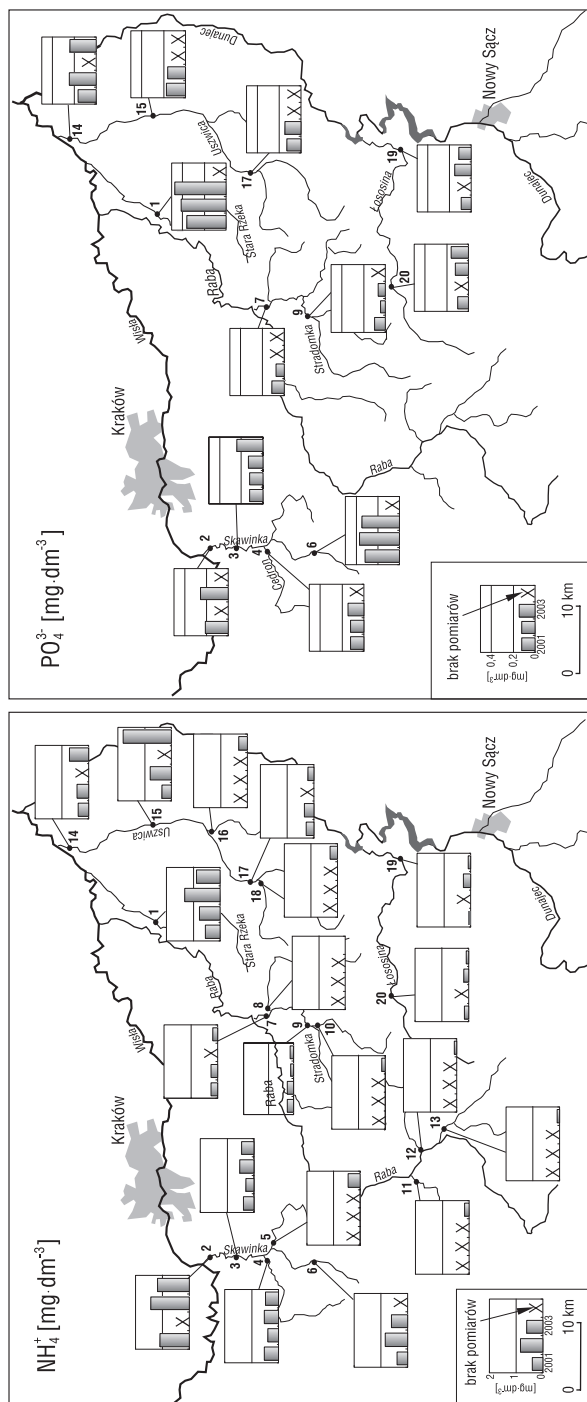
Table 7.5. Statistical characteristics of the Leśny Potok streamwater chemical composition and number of samples (n) collected in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Jednostka	Cecha	2002	2003	2004
SEC	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	429 (151) 408 - 458 227 - 493	470 (364) 436 - 487 232 - 606	498 (55) 373 - 617 466 - 512
Odczyn	(pH)	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,75 (150) 7,69 - 7,82 7,20 - 8,08	7,79 (364) 7,69 - 7,87 7,27 - 8,25	7,76 (55) 7,41 - 7,98 7,63 - 7,83
$\text{NH}_4^+$	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,150 (36) 0,106 - 0,214 0,010 - 1,100	0,310 (27) 0,226 - 0,373 0,150 - 1,900	0,263 (26) 0,201 - 0,483 0,092 - 1,410
$\text{NO}_2^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,047 (36) 0,035 - 0,086 0,015 - 0,197	0,070 (27) 0,043 - 0,090 0,030 - 0,180	0,060 (26) 0,041 - 0,095 0,025 - 0,202
$\text{NO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	2,70 (36) 2,30 - 4,40 0,75 - 12,50	3,80 (27) 2,30 - 4,90 0,75 - 11,10	2,85 (26) 1,63 - 4,95 0,75 - 19,00
$\text{PO}_4^{3-}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,125 (36) 0,108 - 0,173 0,045 - 0,600	0,200 (27) 0,125 - 0,280 0,050 - 1,330	0,265 (26) 0,165 - 0,350 0,110 - 0,680
$\text{Fe}_{\text{og.}}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	— — —	0,37 (23) 0,29 - 0,43 0,18 - 0,50	0,37 (24) 0,25 - 0,47 0,15 - 0,69
$\text{Ca}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	61,7 (52) 58,2 - 64,6 26,9 - 72,4	58,6 (52) 54,4 - 61,6 26,7 - 67,9	61,8 (52) 57,7 - 65,1 43,9 - 73,9
$\text{Mg}^{2+}$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	13,4 (52) 12,3 - 14,2 7,6 - 16,3	14,1 (52) 12,5 - 15,0 7,4 - 17,7	15,0 (52) 13,3 - 16,4 9,0 - 18,8
$\text{Na}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	12,0 (52) 11,5 - 12,6 6,6 - 14,7	12,4 (52) 11,3 - 13,2 6,3 - 15,8	13,8 (52) 13,4 - 14,5 10,2 - 17,0
$\text{K}^+$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	1,8 (52) 1,6 - 2,0 1,2 - 8,0	1,8 (52) 1,6 - 2,1 1,3 - 6,1	2,4 (52) 2,2 - 2,7 1,5 - 5,2
$\text{HCO}_3^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	197,6 (52) 184,8 - 210,2 87,8 - 244,0	207,4 (52) 185,4 - 225,7 75,6 - 252,5	205,6 (52) 174,2 - 232,1 95,2 - 251,3
$\text{SO}_4^{2-}$	[mval·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	58,9 (52) 52,2 - 62,9 34,8 - 67,9	57,0 (48) 53,6 - 61,4 36,0 - 73,1	65,1 (52) 58,12 - 83,8 35,8 - 136,5
$\text{Cl}^-$		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	10,3 (52) 9,2 - 11,7 6,3 - 14,1	9,4 (48) 8,8 - 11,4 8,1 - 19,6	10,4 (52) 9,7 - 12,0 6,3 - 14,5
Twardość ogólna		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	4,36 (52) 4,06 - 4,52 2,08 - 5,28	4,41 (48) 4,12 - 4,52 2,00 - 5,14	4,71 (52) 4,40 - 4,91 3,30 - 5,80
Twardość węglanowa		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	— — —	3,40 (52) 3,04 - 3,70 1,24 - 4,14	3,37 (52) 2,86 - 3,81 1,56 - 4,12

Tabela 7.6. Charakterystyka statystyczna parametrów fizykochemicznych Dworskiego Potoku oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2002-2004

Table 7.6. Statistical characteristics of the Dworski Potok streamwater chemical composition and number of samples (n) collected in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Jednostka	Cecha	2002	2003	2004
SEC	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	567 (364) 522 - 631 133 - 1022	643 (280) 587,5 - 760,3 180 - 1944	766 (303) 677,5 - 1001 260 - 1624
Odczyn	(pH)	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	7,66 (151) 7,58 - 7,79 6,84 - 8,1	7,57 (280) 7,35 - 7,75 6,64 - 8,24	7,28 (303) 6,68 - 7,52 6,25 - 7,93
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,010 (36) 0,008 - 0,061 0,008 - 0,493	0,123 (25) 0,086 - 0,186 0,022 - 2,580	0,030 (23) 0,015 - 0,217 0,008 - 2,210
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,024 (36) 0,015 - 0,030 0,015 - 0,151	0,029 (25) 0,015 - 0,047 0,015 - 0,172	0,015 (24) 0,015 - 0,015 0,015 - 0,030
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	1,95 (36) 1,10 - 2,88 0,75 - 17,20	2,40 (26) 1,03 - 3,03 0,75 - 28,20	1,60 (24) 0,75 - 2,95 0,75 - 40,00
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	0,060 (36) 0,045 - 0,090 0,045 - 0,880	0,045 (25) 0,045 - 0,080 0,045 - 0,490	0,045 (24) 0,045 - 0,060 0,045 - 0,120
Fe <sub>og.</sub>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	—	0,16 (21) 0,120 - 0,190 0,03 - 0,38	0,040 (20) 0,030 - 0,063 0,010 - 0,180
Ca <sup>2+</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	78,0 (52) 62,1 - 87,9 15,1 - 115,9	81,1 (45) 69,5 - 85,1 16,5 - 200,1	82,7 (44) 74,2 - 127,6 53,7 - 235,9
Mg <sup>2+</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	17,3 (52) 15,6 - 19,2 3,4 - 23,0	18,1 (45) 16,2 - 20,0 5,3 - 33,9	18,2 (44) 15,7 - 24,2 9,5 - 37,1
Na <sup>+</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	19,8 (52) 17,1 - 24,1 2,8 - 69,9	20,9 (45) 18,2 - 31,4 3,5 - 65,3	32,3 (44) 27,6 - 44,0 11,8 - 54,1
K <sup>+</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	1,1 (52) 0,7 - 1,4 0,4 - 8,0	1,2 (45) 1,0 - 2,5 0,6 - 17,1	1,4 (44) 1,1 - 1,9 0,5 - 4,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	220,8 (52) 191,9 - 271,2 40,3 - 417,2	256,2 (45) 207,4 - 280,6 43,9 - 392,8	131,8 (44) 73,2 - 178,4 48,8 - 270,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	59,5 (52) 55,5 - 63,4 25,5 - 136,3	62,6 (41) 52,8 - 74,5 17,7 - 546,6	128,3 (44) 110,0 - 339,9 46,6 - 705,8
Cl <sup>-</sup>		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	39,3 (52) 35,2 - 45,3 8,7 - 116,2	40,0 (41) 36,1 - 47,4 9,2 - 85,8	56,9 (44) 51,6 - 71,5 34,2 - 87,2
Twardość ogólna	[mval·dm <sup>-3</sup> ]	mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	5,29 (52) 4,51 - 6,38 1,06 - 7,60	5,92 (41) 5,10 - 6,28 1,40 - 14,16	6,10 (44) 5,43 - 8,95 3,96 - 16,34
Twardość węglanowa		mediana (n) kw. 25% - kw. 75% min.- maks.	—	4,20 (45) 3,40 - 4,60 0,72 - 6,44	2,16 (44) 1,20 - 2,93 0,80 - 4,44



Przewodność i stężenie makroelementów w wodach powierzchniowych zlewni Starej Rzeki związane były głównie z budową geologiczną zlewni cząstkowych. Leśny Górny Potok, położony w całości na odpornych utworach fliszowych płaszczowiny śląskiej, charakteryzował się najniższą przewodnością i stężeniem makroelementów. Najwyższą zaś przewodnością i stężeniem makroelementów odznaczały się ciekі związane z utworami mioceńskimi: Kubaleńiec i Dworski Potok (tab. 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6). W ciekach tych, relatywnie duży udział miały jony  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ .

## 7.1 Wieloletnie i sezonowe zmiany składu chemicznego

### 7.1.1. Zmiany wieloletnie

W latach hydrologicznych 2002-2004 stwierdzono istotny statystycznie<sup>1</sup> wzrost stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  w Kubaleńcu ( $0,053 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), Leśnym Potoku ( $0,045 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) i w Starej Rzece ( $0,07 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), jonu  $\text{NH}_4^+$  w Starej Rzece ( $0,099 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) i Leśnym Potoku ( $0,082 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) oraz  $\text{NO}_3^-$  w Kubaleńcu ( $5,05 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ ). W zlewni Dworskiego Potoku stwierdzono istotny spadek stężenia  $\text{NO}_2^-$  (tab. 7.7). W pozostałych przypadkach nie stwierdzono istotnych zmian (tab. 7.7, 7.9).

W latach hydrologicznych 1998-2004 we wszystkich ciekach istotnie wzrastała przewodność – przeciętnie od kilkunastu  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  w Starej Rzece i Leśnym Potoku do ponad 20  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  w Dworskim Potoku i Kubaleńcu (tab. 7.8). W Leśnym Górnym Potoku, w latach hydrologicznych 2003-2004, również stwierdzono istotny wzrost przewodności (tab. 7.9).

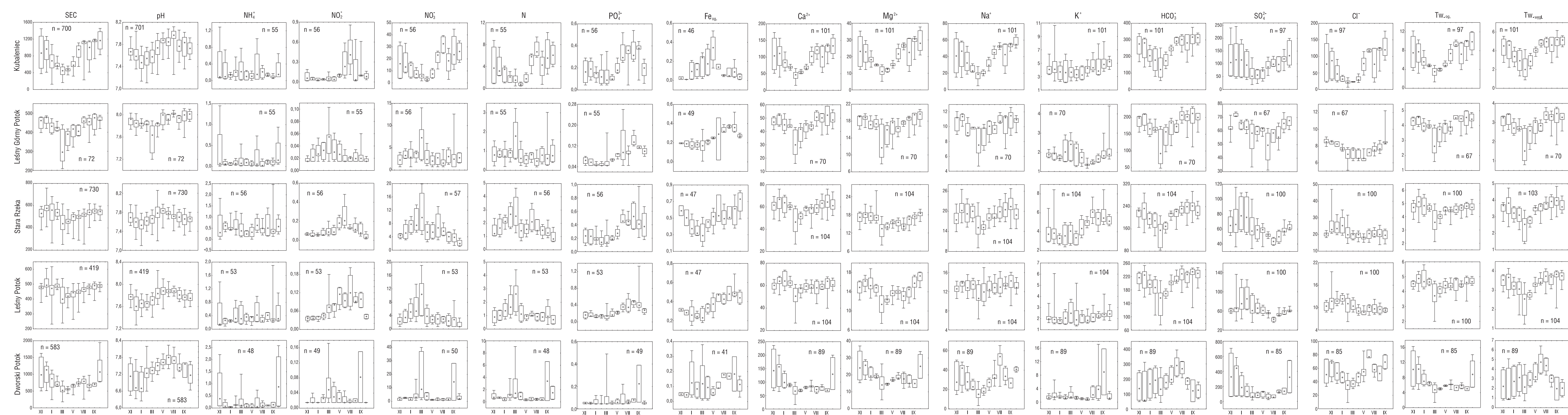
Wśród makroelementów istotny wzrost stężenia, w latach hydrologicznych 2002-2004, zanotowano w przypadku  $\text{Na}^+$  – we wszystkich ciekach z wyjątkiem Kubaleńca,  $\text{K}^+$  – w Starej Rzece, Leśnym Potoku i Kubaleńcu,  $\text{SO}_4^{2-}$  – we wszystkich ciekach z wyjątkiem Leśnego Górnego Potoku oraz  $\text{Cl}^-$  – w Starej Rzece i Dworskim Potoku. Stężenie  $\text{HCO}_3^-$  wzrastało w Leśnym Górnym Potoku, natomiast malało w Dworskim Potoku (tab. 7.7, 7.9).

### 7.1.2. Zmiany w ciągu roku

Skład chemiczny wód Starej Rzeki, Kubaleńca, Leśnego Potoku i Leśnego Górnego Potoku podlegał wyraźnym i ukierunkowanym zmianom w ciągu roku. W Dworskim Potoku zmiany te były mniej regularne, szczególnie w przypadku związków biogennych (ryc.7.2). Wśród związków biogennych najbardziej ukierunkowanymi sezonowymi zmianami stężenia odznaczały się jony  $\text{PO}_4^{3-}$ . Charakteryzowały się one podobnym przebiegiem we wszystkich ciekach: zimą i wiosną występowało niższe stężenie, natomiast latem i jesienią – wyższe. Warto zauważyć, że K. Grodzińska i R. Laskowski (1996) nie zaobserwowali żadnych ukierunkowanych zmian stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  w wodach pobliskiej Ratanicy (zlewnia zalesiona na Pogórzu Wielickim), natomiast P. Pekarova i in. (1999)

<sup>1</sup> Trend zmian składu chemicznego wód określono stosując sezonowy test Kendall'a (zob. rozdz. 2.3).





Rycina 7.2. Zmiana przewodności [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ], odczynu (pH), stężenia związków biogennych, żelaza ogólnego i makroelementów [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] oraz twardości ogólnej i węglanowej [ $\text{mval}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] w ciekach w ciągu roku (miesięczne wartości miar pozycyjnych uzyskane z lat hydrologicznych 2003 i 2004)

Figure 7.2. Monthly changes of conductivity [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ], pH, nutrients, total iron and macroelements concentration [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] and total and carbonate hardness [ $\text{mval}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] for 2003-2004 hydrological years

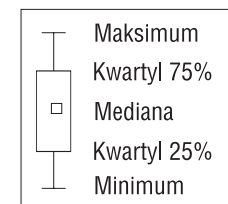


Tabela 7.7. Zmiana stężenia związków biogenych i makroelementów w Starej Rzece, Kubaleńcu, Leśnym Potoku i Dworskim Potoku w latach hydrologicznych 2002-2004 według sezonowego testu Kendall'a

Table 7.7. Trend analysis of nutrients and main ions concentration in the Stara Rzeka, Kubaleniec, Leśny Potok and Dworski Potok streamwater according to Seasonal Kendall's test in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Cecha	Stara Rzeka	Kubaleniec	Leśny Potok	Dworski Potok
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	S	<b>+ 0,099</b>	+ 0,021	<b>+0,082</b>	+0,026
	p	0,050	0,291	0,050	0,175
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	S	+ 0,005	+ 0,005	+ 0,003	<b>- 0,005</b>
	p	0,880	0,451	0,451	0,014
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S	+ 0,163	<b>+ 5,050</b>	+ 0,200	- 0,038
	p	0,760	0,050	0,542	0,760
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	S	<b>+ 0,070</b>	<b>+ 0,053</b>	<b>+ 0,045</b>	0,000
	p	0,024	0,004	0,001	0,301
Ca <sup>2+</sup>	S	- 0,242	+ 6,250	+ 0,443	+ 5,473
	p	1,000	0,097	0,880	0,291
Mg <sup>2+</sup>	S	+ 0,328	+ 1,327	+ 0,863	- 0,005
	p	0,880	0,451	0,097	1,000
Na <sup>+</sup>	S	<b>+ 1,716</b>	+ 4,752	<b>+ 1,043</b>	<b>+ 4,920</b>
	p	0,004	0,175	0,002	0,001
K <sup>+</sup>	S	<b>+ 0,644</b>	<b>+ 0,431</b>	<b>+ 0,181</b>	+ 0,237
	p	0,004	0,050	0,024	0,097
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S	- 3,660	+ 7,168	+ 9,760	<b>-52,460</b>
	p	0,880	0,880	0,097	0,024
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S	<b>+ 5,337</b>	<b>+ 23,590</b>	<b>+ 3,438</b>	<b>+ 30,390</b>
	p	0,020	0,024	0,043	0,008
Cl <sup>-</sup>	S	<b>+ 1,225</b>	+ 5,840	+ 0,337	<b>+ 9,922</b>
	p	0,043	0,175	0,345	0,008

Objaśnienia: S – nachylenie linii trendu [mg·dm<sup>-3</sup>·rok<sup>-1</sup>] (pogrubioną czcionką zaznaczono zmiany istotne na poziomie p≤0,05).

Tabela 7.8. Zmiana natężenia przepływu, przewodności elektrycznej i odczynu wody w Starej Rzece, Kubaleńcu, Leśnym Potoku i Dworskim Potoku w latach hydrologicznych 1998-2004, według sezonowego testu Kendall'a

Table 7.8. Trend analysis of discharge, electrical conductivity and pH in the Stara Rzeka, Kubaleniec, Leśny Potok and Dworski Potok streamwater according to Seasonal Kendall's test in 1998-2004 hydrological years

Parametr	Cecha	Stara Rzeka	Kubaleniec	Leśny Potok	Dworski Potok
Q	S	<b>- 12,710</b>	<b>- 0,702</b>	–	<b>- 0,137</b>
	p	0,002	0,004	–	0,001
SEC	S	<b>+ 13,950</b>	<b>+ 20,750</b>	<b>+ 12,780</b>	<b>+ 29,670</b>
	p	0,000	0,003	0,000	0,000
pH	S	- 0,003	+ 0,010	+ 0,000	<b>-0,025</b>
	p	0,600	0,362	0,827	0,030

Objaśnienia: S – nachylenie linii trendu [mg·dm<sup>-3</sup>·rok<sup>-1</sup>] (pogrubioną czcionką zaznaczono zmiany istotne na poziomie p≤0,05).

Tabela 7.9. Zmiana przewodności, odczynu, stężenia związków biogennych i makroelementów w Leśnym Górnym Potoku w latach hydrologicznych 2003 i 2004, według sezonowego testu Kendall'a

Table 7.9. Trend analysis of discharge, conductivity, pH and main ions in the Leśny Górny Potok streamwater according to seasonal Kendall's test in 2003 and 2004 hydrological years

Parametr	Cecha	Leśny Górny Potok
SEC	S	<b>+ 27,250</b>
	p	0,043
pH	S	<b>+ 0,070</b>
	p	0,016
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	S	-0,075
	p	0,149
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	S	-0,005
	p	0,077
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S	-0,890
	p	0,387
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	S	+ 0,005
	p	0,343
Ca <sup>2+</sup>	S	<b>+ 7,087</b>
	p	0,002
Mg <sup>2+</sup>	S	<b>+ 1,765</b>
	p	0,009
Na <sup>+</sup>	S	<b>+ 0,893</b>
	p	0,009
K <sup>+</sup>	S	+ 0,210
	p	0,149
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S	<b>+ 27,150</b>
	p	0,009
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S	+ 2,150
	p	0,228
Cl <sup>-</sup>	S	+ 0,213
	p	0,228

Objaśnienia: S – nachylenie linii trendu: Q [dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>], SEC [μS·cm<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>], odczyn [pH·rok<sup>-1</sup>] (pogrubioną czcionką zaznaczono zmiany istotne na poziomie p≤0,05).

w miesiącach późnozimowych i wiosennych (w czasie roztopów). Sezonowe zmiany stężenia Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> w prawie wszystkich ciekach nawiązywały do zmian przewodności. Odmienne zachowywały się jony K<sup>+</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, a w niektórych ciekach także HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i Cl<sup>-</sup> (ryc. 7.2).

w kilku małych zalesionych zlewniach karpaczkich na Słowacji stwierdzili wyraźny wzrost stężenia PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> w ciekach latem i jesienią. Przebieg stężenia NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w prawie wszystkich ciekach zlewni Starej Rzeki był także podobny, gdzie najwyższe stężenie występowało na wiosnę, a najniższe – latem i jesienią. Wyjątkiem był Kubaleniec, w którym najwyższe stężenie NO<sub>3</sub><sup>-</sup> występowało latem, a najniższe – wiosną. Stężenie NO<sub>2</sub><sup>-</sup> miało podobny przebieg w Kubaleńcu, Starej Rzece i Leśnym Potoku, gdzie najwyższe stężenie występowało późną wiosną i latem oraz w Leśnym Górnym Potoku i Dworskim Potoku – najwyższe stężenie występowało wczesną wiosną. Najmniej wyraźne sezonowe zmiany stężenia występowały w przypadku jonu NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, chociaż zmiany te we wszystkich ciekach miały podobny przebieg, o czym świadczą wysokie dodatnie współczynniki korelacji (tab. 7.10). Na słabo zaznaczające się sezonowe zmiany stężenia NH<sub>4</sub><sup>+</sup> zwrócili uwagę także inni autorzy (Petry i in. 2002, Clark i in. 2004).

Zmiany stężenia związków biogennych w ciągu roku, a szczególnie PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (we wszystkich ciekach) i NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (w Kubaleńcu), wskazują na niewielkie znaczenie sezonu wegetacyjnego w kształtowaniu tych zmian. Jest to zjawisko nietypowe i rzadko opisywane w literaturze. Najczęściej obserwuje się spadek stężenia związków biogennych (szczególnie NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) latem – na skutek intensywnego poboru przez rośliny, a wzrost – zimą (Betton i in. 1991, Lepisto 1995, Arheimer i in. 1996, Bhangu, Whitfield 1997, Miller, Hirst 1998, Holloway, Dahlgren 2001, Clark i in. 2004).

Zaobserwowano wyraźną zmienność sezonową odczynu i przewodności. We wszystkich ciekach najwyższe wartości osiągała przewodność w miesiącach późnoletnich, jesiennych i wczesnozimowych, a najniższe

Tabela 7.10. Współczynniki korelacji stężeń jonu  $\text{NH}_4^+$  w potokach w latach hydrologicznych 2003 i 2004 (wartości normalizowane i standaryzowane, braki usuwano przypadkami). Wszystkie współczynniki były istotne na poziomie  $p \leq 0,05$

Table 7.10. Correlation coefficients of ammonium concentration between streams in 2003 and 2004 hydrological years (data normalized and standardized, missing data removed by case). All coefficients were significant at  $p \leq 0,05$

	Stara Rzeka	Kubaleniec	Leśny Górny Potok	Leśny Potok	Dworski Potok
Stara Rzeka					
Kubaleniec	0,56				
Leśny Górny Potok	0,61	0,83			
Leśny Potok	0,46	0,63	0,61		
Dworski Potok	0,36	0,81	0,80	0,51	

### 7.1.3. Czynniki kształtujące zmiany składu chemicznego

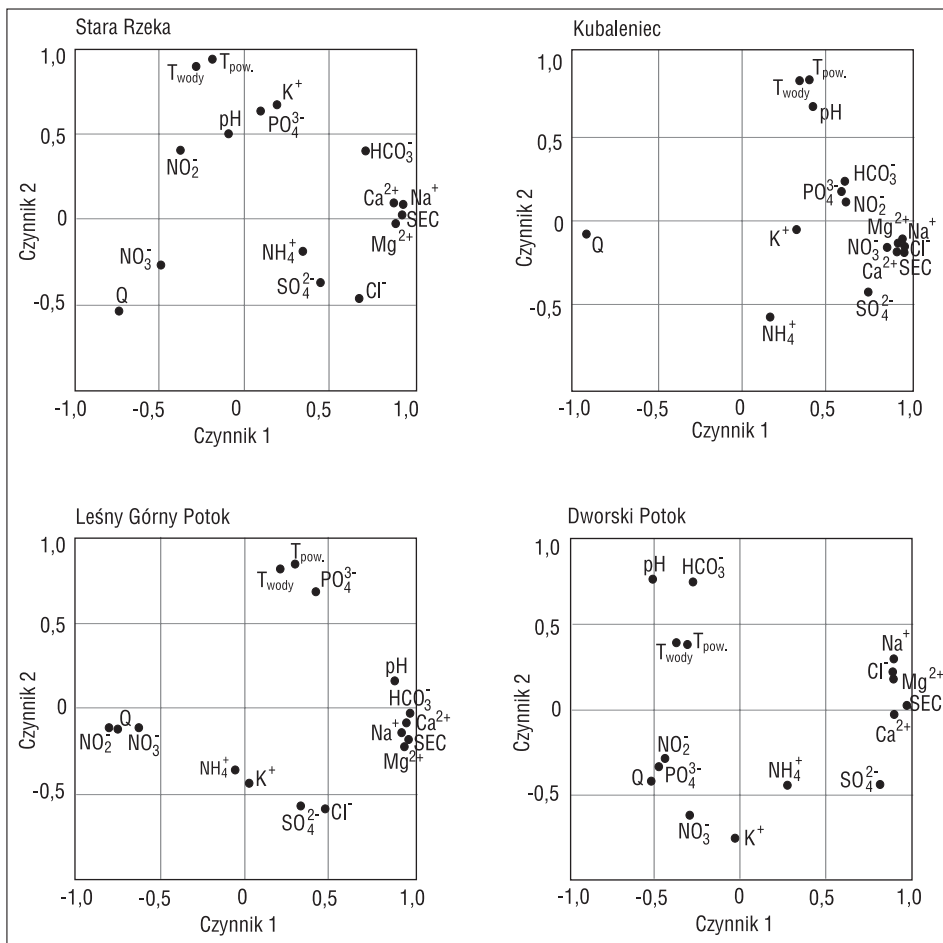
W celu wyodrębnienia niezależnych czynników kształtujących zmiany składu chemicznego wód potoków pogórskich, posłużono się analizą czynnikową<sup>2</sup>. Interpretacji poddano te czynniki, których wartość wyjaśniająca była większa od 1.

Pierwszym, głównym czynnikiem wyróżnionym we wszystkich ciekach, był czynnik związany z natężeniem przepływu. Czynnik ten wyjaśniał 53% zmienności w Kubaleńcu, 48% – w Leśnym Górnym Potoku, 39% – w Dworskim Potoku i 36% – w Starej Rzece. Czynnik ten był bardzo mocno powiązany z makroelementami geogenicznymi, charakterystycznymi dla każdej zlewni, np.  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  dla zlewni Kubaleńca i Dworskiego Potoku, oraz z przewodnością. Wyrażał on podstawową zależność: im wyższe natężenie przepływu tym niższe stężenie makroelementów oraz przewodność (ryc. 7.3).

Natężenie przepływu wpływało także na stężenie związków biogennych, jednak nie we wszystkich ciekach relacje te były takie same. Przykładowo, wzrost przepływu w Starej Rzece, Leśnym Górnym Potoku i Dworskim Potoku powodował wzrost stężenia  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$ , natomiast w Kubaleńcu – wyraźny spadek stężenia tych jonów. Zmiany natężenia przepływu powodowały także różnokierunkowe zmiany stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  w dwóch rolniczych zlewniach: Kubaleńca i Dworskiego Potoku. W Kubaleńcu wzrost przepływu powodował spadek stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$ , natomiast w Dworskim Potoku – jego wzrost (ryc. 7.3).

Różne relacje stężenia związków biogennych do natężenia przepływu w badanych ciekach informują o tym, że główne źródła dostawy tych związków do koryta są odmienne w zlewniach różnie użytkowanych i zagospodarowanych. W zlewniach, w których poszczególne związki biogenne pochodziły głównie ze źródeł obszarowych, wraz ze wzrostem przepływu w ciekach wzrastały ich stężenia (np.  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$  w Starej Rzece, Dworskim Potoku i Leśnym Górnym Potoku). W zlewniach, w których związki te pochodziły głównie ze źródeł punktowych, przy wzrastających natężeniach przepływu

<sup>2</sup> W analizie czynnikowej nie uwzględniono Leśnego Potoku ze względu na brak danych odnośnie natężenia przepływu.



Rycina 7.3. Czynniki dominujące w kształtowaniu składu chemicznego cieków (opracowanie na podstawie analizy czynnikowej – metoda składowych głównych bez rotacji, wartości normalizowane i standaryzowane)

Figure 7.3. The main factors affecting streamwater quality changes (factor analysis – principal component analysis without rotation, normalized and standardized data)

obserwowano – na skutek rozcieńczania – coraz niższe stężenia jonów (np.  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  w Kubaleńcu).

Drugim czynnikiem kierującym zmianami składu chemicznego wód w prawie wszystkich ciekach, był czynnik sezonowy, wyrażony zmianą temperatury powietrza i wody w ciągu roku (ryc. 7.3). Wyjątkiem był Dworski Potok w którym czynnik sezonowy pojawił się na trzeciej pozycji. Czynn timer sezonowy wyjaśniał 24% zmienności w Starej Rzece, 19% w Leśnym Górnym Potoku, 16% w Kubaleńcu i 13% w Dworskim Potoku.

Czynnik ten kierował głównie zmianami  $\text{PO}_4^{3-}$  – w Starej Rzece, Dworskim Potoku i Leśnym Górnym Potoku, pH – w Kubaleńcu i Starej Rzece,  $\text{K}^+$  – w Starej Rzece i Leśnym Górnym Potoku,  $\text{NH}_4^+$  – w Kubaleńcu i Leśnym Górnym Potoku, a także  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{Cl}^-$  – najwyraźniej w Leśnym Górnym Potoku. Zazwyczaj, im wyższa była temperatura powietrza i wody, tym wyższe było stężenie  $\text{PO}_4^{3-}$  i pH, a niższe –  $\text{NH}_4^+$ . Zmiany stężenia  $\text{K}^+$  wraz ze zmianą natężenia przepływu były różnokierunkowe.

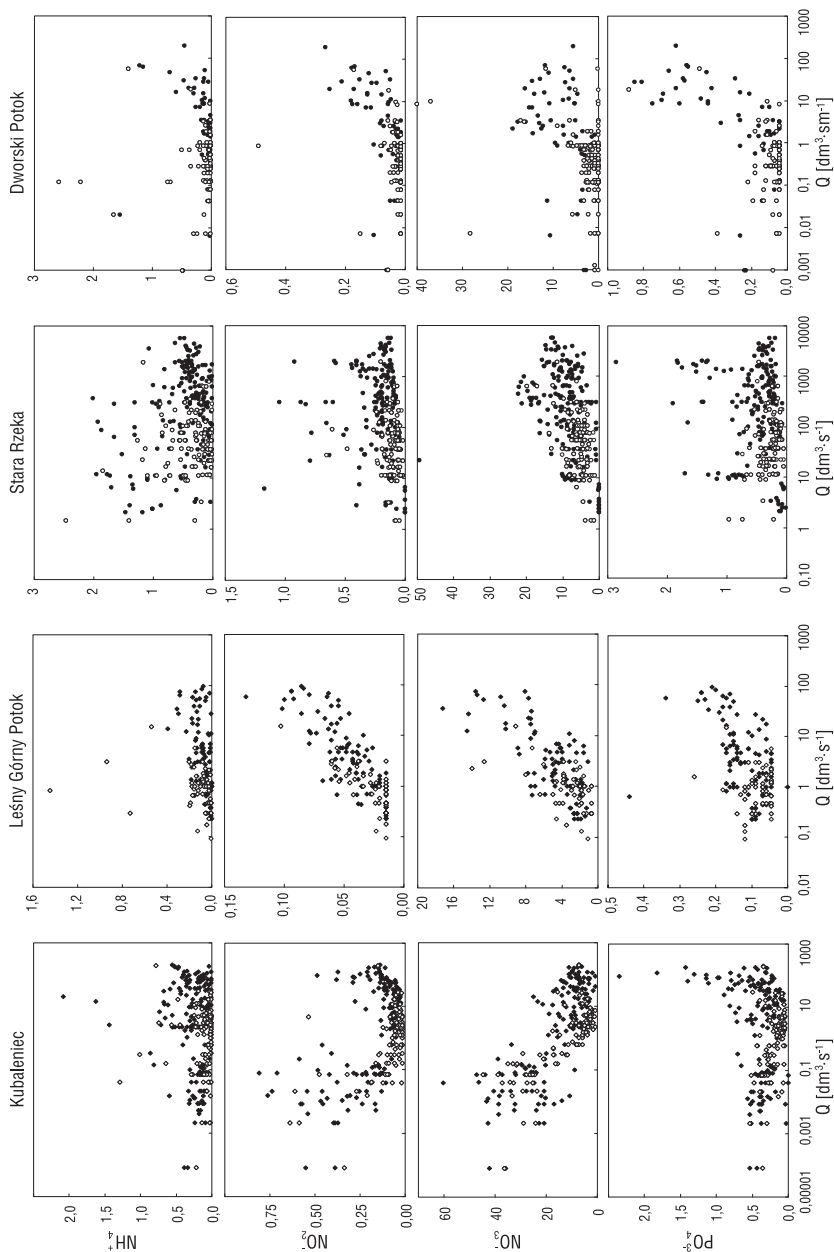
Kolejnym czynnikiem kierującym zmianami składu chemicznego wód rzecznych był czynnik związany z krążeniem wód w zlewni. Wpływ tego czynnika był bardzo wyraźny w Dworskim Potoku, gdzie wyjaśniał aż 21% zmienności (znajdował się na drugiej pozycji wśród wyróżnionych czynników). W Starej Rzece czynnik ten wyjaśniał 15% zmienności, w Kubaleńcu – 11%, a w Leśnym Górnym Potoku – 10%. Czynnik ten kształtował stężenie związków biogenych ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) i  $\text{K}^+$ , w odwrotnej relacji do stężenia  $\text{HCO}_3^-$  i niekiedy pH. Pierwsza grupa jonów związana była, przede wszystkim, z płytkim krążeniem wody w zlewni (powierzchniowym i śródpokrywowym), natomiast druga – z nieco głębszym krążeniem gruntowym.

Czynnik czwarty wyjaśniał 8% zmienności w Dworskim Potoku, 7% – w Starej Rzece oraz po 6% w Leśnym Górnym Potoku i Kubaleńcu. Wśród jonów o wysokim ładunku czynnikowym dominowały formy azotu mineralnego, przede wszystkim –  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_2^-$ . Czynnik ten prawdopodobnie był związany z procesami nityfikacyjnymi zachodzącymi w wodzie.

#### 7.1.4. Źródła i drogi dostawy związków biogenych do koryta

Analiza czynnikowa wskazała na najważniejsze relacje pomiędzy natężeniem przepływu a stężeniem związków biogenych. Na podstawie tych relacji, w każdej zlewni wyróżniono główne źródła dostawy związków biogenych. W Kubaleńcu, w przypadku  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ , dominowały źródła punktowe, natomiast w pozostałych ciekach, w przypadku  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$  – obszarowe. Nie były to jednak jedyne źródła związków biogenych w tych zlewniach, w każdej z nich, a szczególnie w zlewniach poddanych mocnej antropopresji, źródła dostawy związków biogenych były zróżnicowane – zarówno punktowe, jak i obszarowe. Udział poszczególnych źródeł, a także dróg (odpływ gruntowy, śródpokrywowy, spływ powierzchniowy) dostawy związków biogenych do koryta zmieniał się w zależności od warunków hydrologicznych panujących w zlewni, a wyrażających się najpełniej w ilości odprowadzanej wody. Zjawisko to było bardzo dobrze widoczne w przypadku  $\text{PO}_4^{3-}$ , szczególnie w zlewni Kubaleńca: wraz ze wzrostem przepływu w cieku stężenie  $\text{PO}_4^{3-}$  wyraźnie malało, aż do osiągnięcia pewnej wartości progowej przepływu<sup>3</sup> (ryc. 7.4). Po przekroczeniu tej wartości, wraz ze wzrostem przepływu następował bardzo wyraźny wzrost stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$ . Stwierdzony w początkowej fazie spadek stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  wraz ze wzrostem przepływu był konsekwencją rozcieńczania mocno zanieczyszczonych wód Kubaleńca wodami opadowymi, które

<sup>3</sup> Do analizy zależności pomiędzy stężeniem związków biogenych a natężeniem przepływu posłużono się wszystkimi pomiarami wykonanymi w latach 2001-2004, ze względu na niewielką reprezentację najniższych i najwyższych natężeń przepływu w czasie co 2-tygodniowych pomiarów.



Rycina 7.4. Zależność stężenia związków biogennych [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ] od natężenia przepływu w ciekach,  $\circ$  – na podstawie pomiarów wykonanych z co 2-tygodniowych poborów próbek wód,  $\bullet$  – na podstawie wszystkich pomiarów (2001-2004)  
 Figure 7.4. Concentration of nutrients [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ] vs. discharge,  $\circ$  – biweekly samples,  $\bullet$  – all samples (2001-2004)



docierały do koryta bezpośrednio lub drogą spływu śródpokrywowego. Przy wyższych natężeniach przepływu pojawiał się spływ powierzchniowy, który dostarczał do koryta dodatkową pulę fosforu. W Dworskim Potoku i Leśnym Górnym Potoku spadek stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  w pierwszej fazie wzrostu przepływu był słabo widoczny, czego przyczyną był brak punktowych źródeł zanieczyszczeń, natomiast wyraźnie zaznaczał się wzrost stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  w drugiej fazie wzrostu (obszarowe źródła  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Podobny związek pomiędzy stężeniem fosforu a przepływem zaobserwowali R. Hirsch i in. (1991) w rzece Klamath w Kalifornii oraz H.B. Pionke i in. (1999) w małej rolniczej zlewni w Pensylwanii. Związek stężenia  $\text{PO}_4^{3-}$  z natężeniem przepływu w Starej Rzece był bardzo złożony, co wynikało ze złożonej struktury użytkowania i zagospodarowania zlewni.

Warto zwrócić uwagę na związek pomiędzy stężeniem  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$ , a natężeniem przepływu w Kubaleńcu. W początkowej fazie wzrostu przepływu stężenie tych jonów – pochodzących głównie z punktowych źródeł – wyraźnie malało na skutek rozcieńczenia (ryc. 7.4). Wzrost stężenia  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$  w drugiej fazie wzrostu przepływu był związany z transportem tych jonów z obszaru zlewni wraz z wodami spływu śródpokrywowego (źródło obszarowe). W zlewni Kubaleńca znaczenie punktowych źródeł dostawy azotu do koryta było zdecydowanie większe niż znaczenie źródeł obszarowych. Zupełnie odmienne wnioski można wyciągnąć analizując związek pomiędzy stężeniem  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$ , a przepływem w pozostałych ciekach: Starej Rzece, Leśnym Górnym Potoku i Dworskim Potoku. Źródła obszarowe w tych zlewniach pełnią wiodącą rolę w dostawie  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$  do koryta.

Nie stwierdzono wyraźnego związku pomiędzy stężeniem  $\text{NH}_4^+$  a przepływem w ciekach. Prawdopodobnie jest to spowodowane bardzo małą stabilnością  $\text{NH}_4^+$  w środowisku wodnym oraz wieloma różnymi czynnikami kierującymi dostawą  $\text{NH}_4^+$  do koryta (Clark i in. 2004).

### 7.1.5. Naturalne i antropogeniczne zmiany składu chemicznego

Najważniejszym czynnikiem kształtującym zmiany składu chemicznego wód cieków pogórskich zarówno w skali roku, jak i wielolecia, okazał się czynnik naturalny, jakim było natężenie przepływu. Podobne wyniki odnośnie przyczyn sezonowej zmienności składu chemicznego wód rzecznych uzyskali w rzekach kanadyjskich M.C. Feller, J.P. Kimmins (1979), E.M. Cameron (1996) oraz I. Bhangu, P.H. Whitfield (1997), w rzekach brytyjskich – A.M.C. Edwards (1973) oraz A.D. Muscutt, J.A. Withers (1996), w USA – F.A. Rinella, M.L. Janet (1998), w Hiszpanii – J. Pinol i in. (1992). Wiodącą rolę zmian przepływu w wieloleciu w kształtowaniu składu chemicznego wód rzecznych udokumentowali A.D. Muscutt, J.A. Withers (1996) oraz J. Vuorenmaa i in. (2002).

Nasuwa się zatem pytanie: czy zmiany składu chemicznego wód cieków pogórskich w ostatnich kilku latach były związane tylko ze spadkiem przepływu w tym czasie?

Po wyeliminowaniu wpływu natężenia przepływu na skład chemiczny wód (zob. rozdz. 2.3) stwierdzono istotny, rosnący trend stężenia jonu  $\text{NH}_4^+$  w Starej Rzece ( $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) oraz malejący trend  $\text{NO}_2^-$  w Dworskim Potoku ( $0,0036 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) (tab. 7.11, 7.12). W przypadku przewodności, jej wartość istotnie wzrastała jedynie w Starej Rzece ( $6,9 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Wśród makroelementów, we wszystkich ciekach z wyjątkiem



Leśnego Górnego Potoku wzrastało stężenie  $\text{Na}^+$  oraz  $\text{SO}_4^{2-}$ , a w Starej Rzece i Dworskim Potoku – również stężenie  $\text{Cl}^-$ . Równocześnie malało stężenie  $\text{Ca}^{2+}$  w Starej Rzece oraz  $\text{HCO}_3^-$  w Starej Rzece i Dworskim Potoku. W pozostałych przypadkach nie stwierdzono istotnych zmian, można założyć że zmiana stężenia tych jonów była związana głównie ze zmianą natężenia przepływu (tab. 7.11, 7.12, por. z tab. 7.7, 7.8, 7.9).

Główną przyczyną wzrostu stężenia jonu  $\text{NH}_4^+$  w Starej Rzece był wzrost dostawy ścieków bytowych do rzeki (fot. 7.1), na skutek podłączenia sieci wodociągowej wzrosło zużycie wody w gospodarstwach wiejskich, nie wzrosła natomiast ilość ścieków odprowadzanych do oczyszczalni w Bochni, głównie z powodu braku kanalizacji (Pietrzak 2005, zob. rozdz. 5).

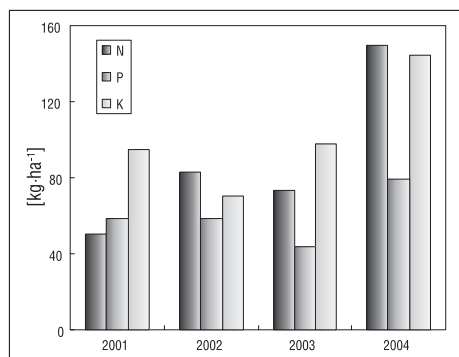
Od końca lat 80. XX wieku w krajach wysoko rozwiniętych obserwuje się stopniowy spadek stężenia  $\text{NH}_4^+$ , w wyniku coraz skuteczniejszej gospodarki wodno-ściekowej (Lehmann, Rode 2001, Sullivan 2000). W krajach byłego bloku socjalistycznego proces ten przebiega z opóźnieniem (van Dijk i in. 1994), ale od lat 90. jest również wyraźny,

Tabela 7.11. Zmiana stężenia związków biogenych i makroelementów w Starej Rzece, Kubaleńcu i Dworskim Potoku w latach hydrologicznych 2002-2004 po wyeliminowaniu wpływu natężenia przepływu, według sezonowego testu Kendall'a

Table 7.11. Flow-adjusted trend analysis of nutrients and main ions concentration in the Stara Rzeką, Kubaleniec and Dworski Potok streamwater according to seasonal Kendall's test in 2002-2004 hydrological years

Parametr	Cecha	Stara Rzeką	Kubaleniec	Dworski Potok
$\text{NH}_4^+$	S	<b>+0,1111</b>	+0,01637	+0,0204
	p	0,05	0,2913	0,451
$\text{NO}_2^-$	S	-0,0004	+0,0019	<b>-0,0036</b>
	p	1	0,88	0,015
$\text{NO}_3^-$	S	+0,1077	+1,097	0,0823
	p	0,88	0,45	1
$\text{PO}_4^{3-}$	S	+0,023	0,02	-0,002
	p	0,2913	0,29	0,4404
$\text{Ca}^{2+}$	S	<b>-2,119</b>	+2,976	+7,421
	p	0,02	0,2913	0,2913
$\text{Mg}^{2+}$	S	+0,141	+0,05	+0,383
	p	0,65	1	0,451
$\text{Na}^+$	S	<b>+0,9664</b>	<b>+2,711</b>	<b>+4,381</b>
	p	0,0005	0,024	0,0104
$\text{K}^+$	S	+0,2253	+0,1341	+0,224
	p	0,0973	0,45	0,0973
$\text{HCO}_3^-$	S	<b>-11,88</b>	-6,335	-42,35
	p	0,02	0,45	0,055
$\text{SO}_4^{2-}$	S	<b>+5,08</b>	<b>+15,72</b>	<b>+29,6</b>
	p	0,02	0,04	0,003
$\text{Cl}^-$	S	<b>+0,7343</b>	+3,549	<b>+9,281</b>
	p	0,008	0,1615	0,008

Objaśnienia: S – nachylenie linii trendu [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{rok}^{-1}$ ] (pogrubioną czcionką zaznaczono zmiany istotne na poziomie  $p \leq 0,05$ ).



Rycina 7.5. Dostawa nawozów mineralnych (NPK) do zlewni Dworskiego Potoku w latach 2001-2004

Figure 7.5. Annual supply of mineral fertilizers (NPK) to the Dworski Potok catchment in 2001-2004

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ.

szczególnie w przypadku dużych rzek (Dojlido i in. 2004, Petrova i in. 1999). Przykład zlewni Starej Rzeki pokazuje, że małe zlewnie wiejskie Pogórza Karpackiego wciąż borykają się z tym problemem.

W zlewni Dworskiego Potoku, pomimo wzrostu aplikacji nawozów w latach 2001-2004 (ryc. 7.5), zauważono istotny spadek stężenia  $\text{NO}_2^-$  w cieku oraz brak istotnych zmian stężenia pozostałych związków biogenych. Zjawisko to związane jest z dobrą praktyką rolną w zlewni, która należy do Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Jagiellońskiego, a także z brakiem dostawy ścieków z gospodarstw wiejskich. Spadek stężenia związków biogenych (z wyjątkiem  $\text{NO}_3^-$ ) obserwowano w tym czasie także w dwóch drenach znajdujących się w zlewni (tab. 7.13).

Wzrost stężenia  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  oraz spadek stężenia  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{Ca}^{2+}$  w większości badanych cieków może być związany ze wzrostem udziału wód głębszego krążenia w zasilaniu cieków. Na taki związek składu chemicznego wód od głębokości drenażu zwracają uwagę A. Macioszczyk, D. Dobrzański (2002). Spadek wysokości opadów w ostatnich kilku latach (zob. ryc. 4.2), w powiązaniu z niewielkimi zdolnościami retencyjnymi i wodonośnością podłoża zlewni Starej Rzeki (Chelmski i in. 1995, Pociask-Karteczka 1995), doprowadził do stopniowego zmniejszania się odpływu oraz do drenowania wód podziemnych coraz głębszego krążenia.

Tabela 7.12. Zmiana stężenia związków biogenych i makroelementów w Leśnym Górnym Potoku w latach hydrologicznych 2003 i 2004 po wyeliminowaniu wpływu natężenia przepływu, według sezonowego testu Kendall'a

Table 7.12. Flow-adjusted trend analysis of nutrients and main ions concentration in the Leśny Górny Potok streamwater according to seasonal Kendall's test in 2003-2004 hydrological years

Parametr	Cecha	Leśny Górny Potok
$\text{NH}_4^+$	S p	-0,05 0,07
$\text{NO}_2^-$	S p	0 1
$\text{NO}_3^-$	S p	+0,25 1
$\text{PO}_4^{3-}$	S p	-0,01 0,23
$\text{Ca}^{2+}$	S p	-0,96 0,23
$\text{Mg}^{2+}$	S p	-0,63 0,23
$\text{Na}^+$	S p	-0,04 1
$\text{K}^+$	S p	+0,1 0,55
$\text{HCO}_3^-$	S p	-12,34 0,23
$\text{SO}_4^{2-}$	S p	+1,72 0,34
$\text{Cl}^-$	S p	0 1

Objaśnienia:

S – nachylenie linii trendu [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],

p – poziom istotności.

Tabela 7.13. Charakterystyka statystyczna stężenia związków biogennych [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ] w wodach spływu śródpokrywowego (dwa dreny) w zlewni Dworskiego Potoku oraz liczba pomiarów (n) wykonanych w latach hydrologicznych 2003 i 2004

Table 7.13. Statistical characteristics of nutrients concentration [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ] in subsurface runoff water (drainage pipes) in the Dworski Potok catchment (n – number of samples collected in 2003 and 2004)

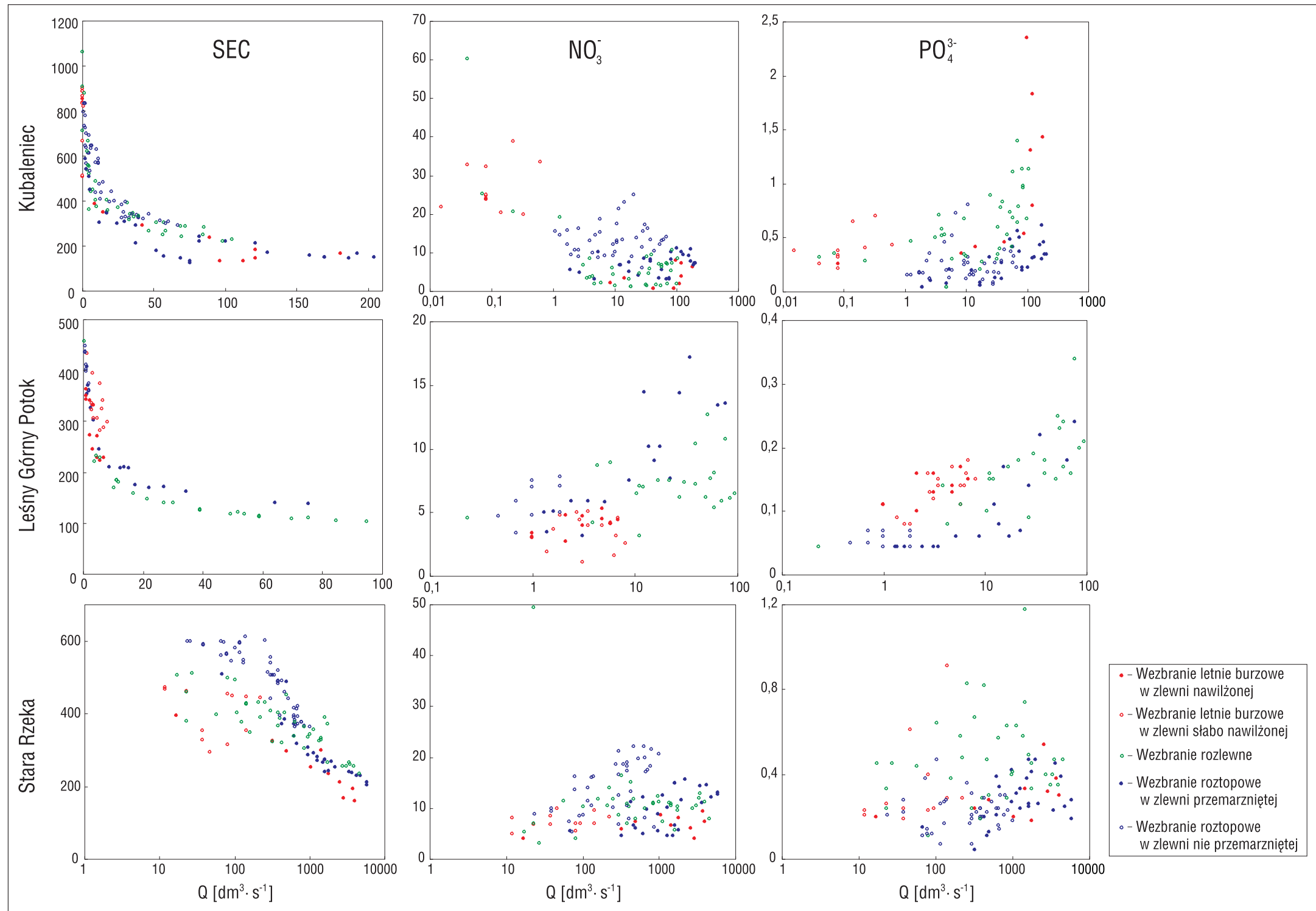
Parametr	Cecha	Dren 1		Dren 2	
		2003	2004	2003	2004
$\text{NH}_4^+$	mediana (n)	0,466 (14)	0,090 (15)	0,065 (13)	0,030 (9)
	kw. 25% - kw. 75%	0,261 - 0,548	0,023 - 0,158	0,06 - 0,152	0,022 - 0,14
	min.- maks.	0,139 - 4,700	0,008 - 0,565	0,008 - 0,980	0,015 - 0,529
$\text{NO}_2^-$	mediana (n)	0,097 (14)	0,015 (15)	0,035 (13)	0,015 (9)
	kw. 25% - kw. 75%	0,0753 - 0,137	0,015 - 0,025	0,023 - 0,041	0,015 - 0,015
	min.- maks.	0,015 - 0,453	0,015 - 0,041	0,015 - 0,140	0,015 - 0,025
$\text{NO}_3^-$	mediana (n)	1,1 (14)	5,0 (15)	12,9 (13)	36,2 (9)
	kw. 25% - kw. 75%	0,75 - 1,95	3,45 - 8,25	10,6 - 23,8	30,7 - 70,9
	min.- maks.	0,75 - 16,1	0,75 - 28,7	7,9 - 37,6	27,6 - 94,9
$\text{PO}_4^{3-}$	mediana (n)	0,190 (14)	0,045 (15)	0,045 (13)	0,045 (9)
	kw. 25% - kw. 75%	0,07 - 0,33	0,045 - 0,058	0,045 - 0,045	0,045 - 0,045
	min.- maks.	0,045 - 0,950	0,045 - 0,110	0,045 - 0,540	0,045 - 0,100

## 7.2. Zmiany składu chemicznego w czasie wezbrań

Każde wezbranie charakteryzuje się indywidualną zależnością składu chemicznego wód od natężenia przepływu (Froehlich 1975). Związane jest to z współwystępowaniem wielu czynników, które kształtują przebieg wezbrania: wielkością i czasem jego trwania, długością okresu międzywezbraniowego, nawilżeniem zlewni oraz dostępnością substancji do transportu (Froehlich 1975, 1982, Walling, Foster 1975). Różne właściwości chemiczne poszczególnych związków, udział części z nich w obiegu biologicznym, w procesach glebowych i geochemicznych, powodują zróżnicowane, a czasem nawet różnokierunkowe zmiany stężenia jonów w czasie wezbrań (Kostrzewski i in. 1992, Gacek 2001, Siwek 2001).

Bardzo ważnym czynnikiem kształtującym właściwości fizykochemiczne cieków w zlewni Starej Rzeki<sup>4</sup> jest sposób krążenia wód w zlewni, który zależy od genetycznego typu wezbrania oraz stanu pokryw w zlewni (nawilżenia-przemarznięcia). Przy podobnych natężeniach przepływu wyższe stężenie jonów pochodzących z ługowania pokryw: makroelementów i jonu  $\text{NO}_3^-$ , występuje podczas wezbrań, w czasie których woda opadowa bądź roztopowa może swobodnie infiltrować w głąb pokryw. Tak jest podczas wezbrań roztopowych z nieprzemarzniętą pokrywą glebową i w czasie wezbrań rozlewnych (ryc. 7.6). Podczas wezbrań roztopowych z przemarzniętą pokrywą glebową i wezbrań burzowych nawalnych, w czasie których infiltracja jest ograniczona,

<sup>4</sup> W latach 2002-2004 w zlewni Starej Rzeki i w jej zlewniach cząstkowych: Kubaleńca, Leśnego Górnego Potoku, Leśnego Potoku i Dworskiego Potoku opróbkowano 9 wezbrań letnich burzowych, 12 – rozlewnych i 21 – roztopowych. W niniejszym opracowaniu interpretacji poddano wezbrania w zlewniach: Starej Rzeki, Kubaleńca i Leśnego Górnego Potoku.



Rycina 7.6. Związek przewodności [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] oraz stężenia jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] z przepływem [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] w czasie wezbrań różnej genezy w zlewniach Kubaleńca, Leśnego Górnego Potoku i Starej Rzeki  
 Figure 7.6. Conductivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] and concentration of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] vs. discharge [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] of Kubaleniec, Leśny Górny Potok and Stara Rzeka during flood events of different origin

stężenie tych jonów jest niższe. Do podobnych wniosków doszedł W. Froehlich (1982) prowadząc badania w beskidzkiej zlewni Kamienicy Nawojowskiej, A. Kostrzewski i in. (1992) w młodoglacjalnej zlewni górnej Parsęty i Młyńskiego Potoku oraz D. Caissie i in. (1996) w zlewni Catamaran Brook w Kanadzie. W zlewni Starej Rzeki odmiennie od przewodności, stężenia makroelementów oraz jonu  $\text{NO}_3^-$  zachowują się jony  $\text{PO}_4^{3-}$ . Docierają one do koryta głównie z wodami spływu powierzchniowego zasobnego w zawiesinę, dlatego też ich stężenie jest najwyższe w czasie wezbrań burzowych nawałnych oraz rozlewnych (ryc. 7.6).

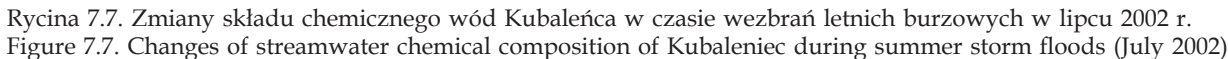
### 7.2.1. Wezbrania letnie burzowe

W lipcu 2002 roku w zlewni Starej Rzeki wystąpiły dwa wezbrania deszczowe wywołane opadem nawałnym o wysokości 3,8 mm (15-16 lipca) i 40,4 mm (16-17 lipca). Pierwsze wezbranie wystąpiło w warunkach zlewni słabo nawilżonej, natomiast drugie – w warunkach zlewni dobrze nawilżonej opadem z dnia poprzedniego.

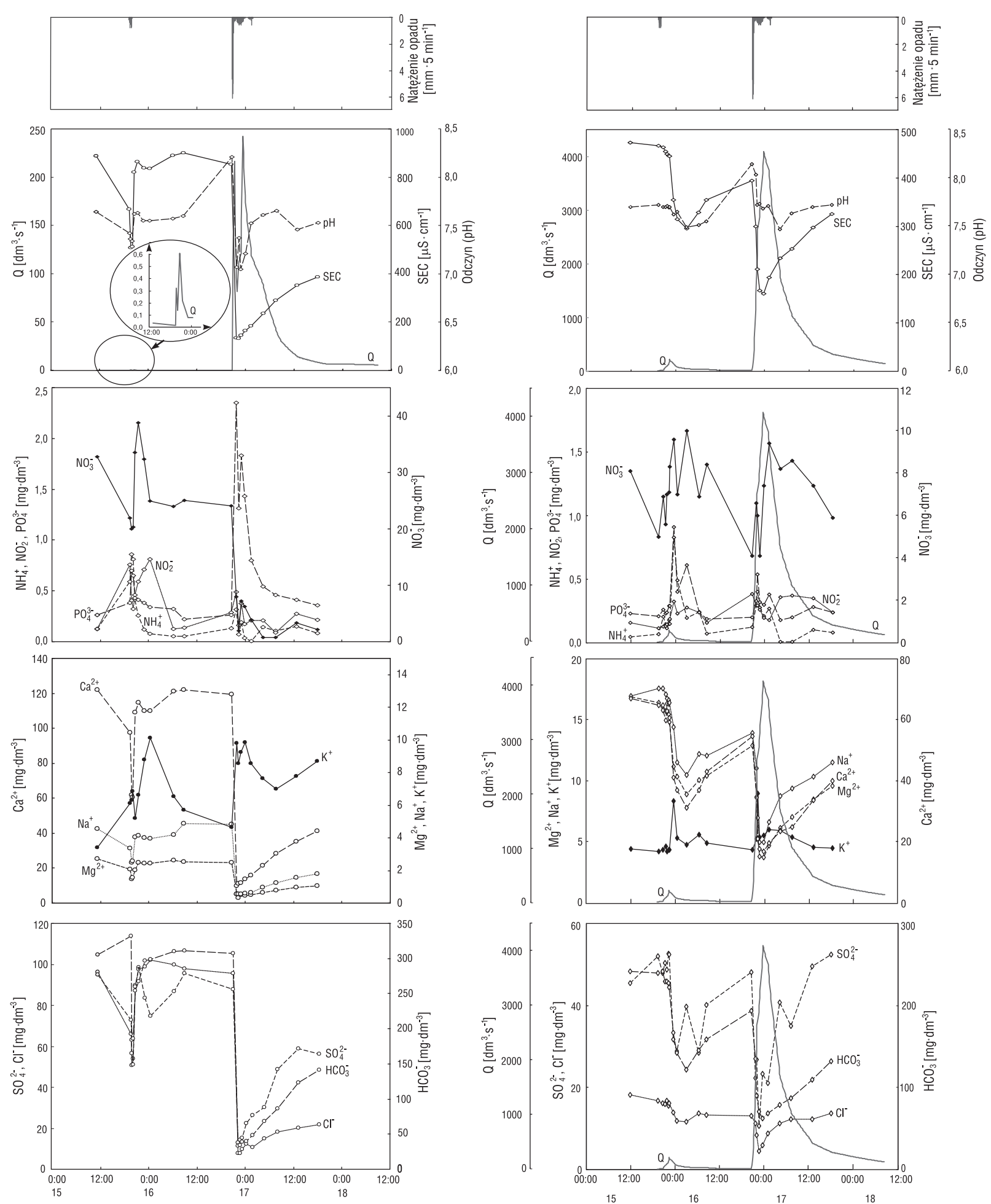
W czasie obu wezbrań, w wodach Kubaleńca i Starej Rzeki zmalał odczyn, przewodność i stężenie makroelementów ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), z wyjątkiem  $\text{K}^+$  (ryc. 7.7, 7.8). Było to wynikiem rozcieńczania wód pochodzących z zasilania gruntowego słabiej od nich zmineralizowanymi wodami spływu powierzchniowego i śródpokrywowego oraz wodami opadowymi bezpośrednio zasilającymi potok. Najbardziej dynamiczne zmiany przewodności i stężenia makroelementów wystąpiły w czasie pierwszego, niewielkiego wezbrania oraz na początku drugiego, znacznie większego wezbrania, kiedy to do wód gruntowych dopływały w różnych proporcjach wody śródpokrywowe i ze spływu powierzchniowego. W czasie trwania bardzo wysokich przepływów przewodność i stężenie makroelementów nie ulegało już tak dużym zmianom ze względu na dominujący udział w zasilaniu wód bardzo krótkiego krążenia.

Odmienne, na wzrost przepływu w ciekach reagowały związki biogenne oraz  $\text{K}^+$ , których stężenia na ogół wzrastały w czasie wezbrania. W przypadku łatwo sorbowanych przez zawiesinę jonów  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  obserwowano najczęściej dwa piki stężenia tych jonów: pierwszy – związany był z resuspensją osadów dennych w korycie i pojawiał się tuż po rozpoczęciu wezbrania, natomiast drugi – ze spływem powierzchniowym, który docierał w późniejszym etapie formowania się fali wezbraniowej (ryc. 7.7, 7.8). Stężenie łatwo rozpuszczalnych jonów  $\text{NO}_3^-$  w początkowej fazie wezbrań deszczowych gwałtownie zmniejszało się – szczególnie wyraźnie w Kubaleńcu, a następnie wzrastało wraz z dopływem do koryta wód spływu śródpokrywowego. Zjawisko zmniejszania się stężenia jonu  $\text{NO}_3^-$  w Kubaleńcu wynikało z:

- rozcieńczania, zasobnych w jon  $\text{NO}_3^-$ , wód potoku wodami opadowymi bezpośrednio wprowadzanymi do koryta oraz wodami spływu powierzchniowego, które szybko dostawały się do koryta dzięki gęstej sieci dróg polnych i bruzd,
- szybkiego dotarcia płytkich wód aluwialnych do koryta Kubaleńca. Istnienie dobrego związku hydraulicznego pomiędzy wodą zgromadzoną w aluviach płaskodennej doliny a wodą w potoku potwierdza skład chemiczny wody w piezometrze, który był podobny do składu chemicznego wody w potoku w początkowej fazie wezbrania. Wody w aluviach były ubogie w  $\text{NO}_3^-$ , natomiast bardzo zasobne w  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  (tab. 7.14).



Rycina 7.7. Zmiany składu chemicznego wód Kubaleńca w czasie wezbrań letnich burzowych w lipcu 2002 r.  
Figure 7.7. Changes of streamwater chemical composition of Kubaleniec during summer storm floods (July 2002)



Rycina 7.8. Zmiany składu chemicznego wód Starej Rzeki w czasie wezbrań letnich burzowych w lipcu 2002 r.

Figure 7.8. Changes of streamwater chemical composition of Stara Rzeka during summer storm floods (July 2002)



Tabela 7.14. Cechy fizykochemiczne płytkich wód aluwialnych w zlewni Kubaleńca w okresie międzywezbrowniowym

Table 7.14 Physico-chemical characteristics of shallow alluvial groundwater in the Kubaleniec catchment during low-flow period

Czas	SEC [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$
		[ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]			
24.07.02 21:20	1217	3,09	0,157	0,75	3,60
25.07.02 01:25	550	1,74	0,079	0,75	0,59
25.07.02 05:25	499	0,92	0,075	0,25	0,36
25.07.02 09:20	–	1,41	0,374	–	5,80
25.07.02 13:30	1772	14,29	0,179	0,21	35,00

W płaskodennej dolinie Kubaleńca następuje prawdopodobnie, opisywany przez M.G. Sklash'a i R.N. Farvolden'a (1979), wzrost ciśnienia hydraulicznego wód gruntowych w pobliżu cieków pod wpływem ciśnienia wywieranego przez infiltrującą wodę. Przejawia się to szybką i zwiększoną dostawą wód gruntowych do koryta.

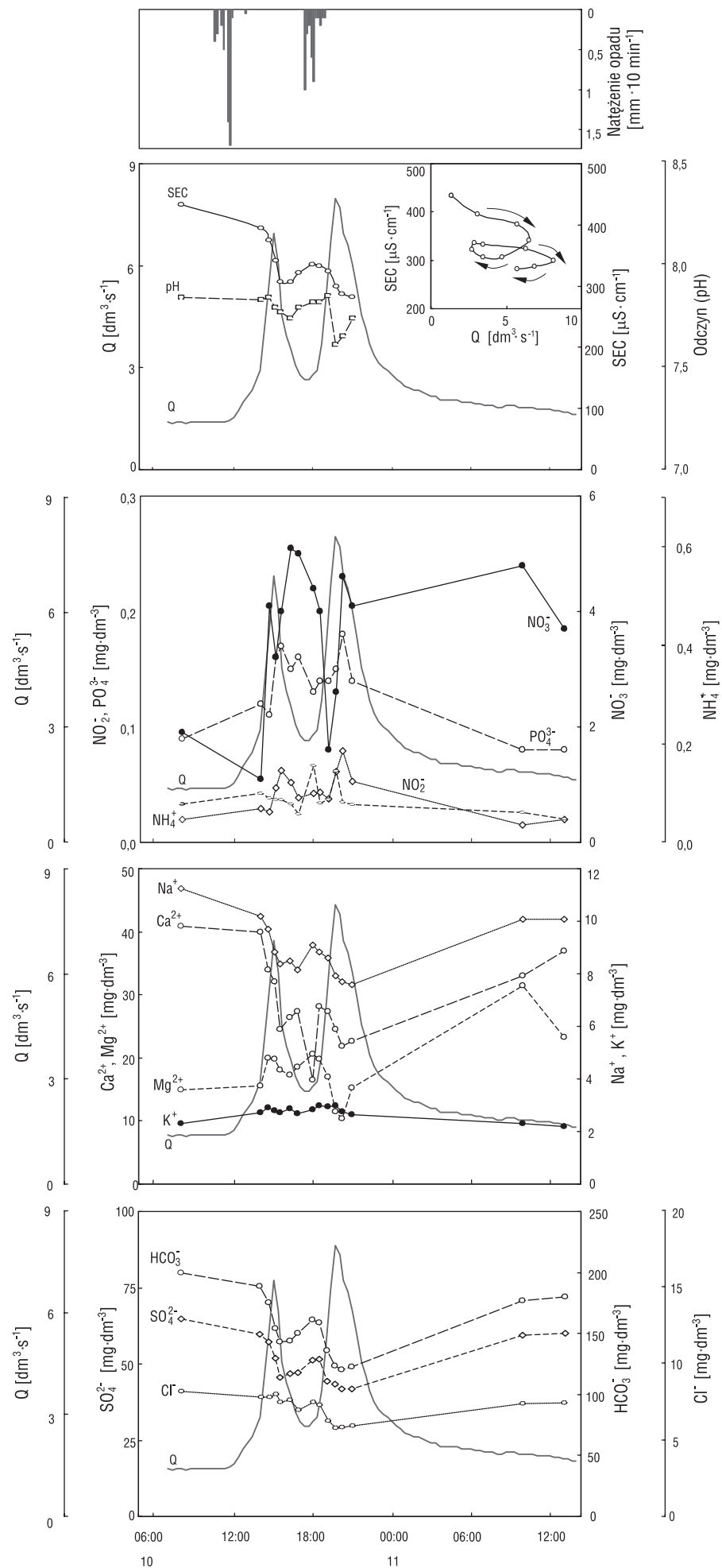
W lipcu 2003 r. w zlewni Leśnego Górnego Potoku wystąpiło wezbranie burzowe z dwoma kulminacjami. Pierwsza kulminacja wystąpiła w warunkach zlewni mocno przesuszonej, natomiast druga – dobrze nawilżonej. Wraz ze wzrostem przepływu malał odczyn, przewodność i stężenie makroelementów, z wyjątkiem  $\text{K}^+$ . W czasie pierwszej kulminacji wartości tych parametrów były wyższe niż w czasie drugiej kulminacji (ryc. 7.9). Wynikało to z wymywania przez infiltrujące wody opadowe związków chemicznych zakumulowanych w pokrywach w okresie międzywezbrowniowym. W miarę przemywania pokryw zmniejszały się zasoby dostępnych związków. Podobne zjawisko (*flushing effect*) jest opisywane przez wielu autorów (Edwards 1973, Walling, Foster 1975, Pilgrim i in. 1979, Froehlich 1982). Stężenia wszystkich związków biogennych w Leśnym Górnym Potoku wzrastały wraz ze wzrostem przepływu (ryc. 7.9). Analogiczne zmiany właściwości fizykochemicznych wód Leśnego Górnego Potoku obserwowano w czasie wezbrania burzowego w czerwcu 2004 roku.

### 7.2.2. Wezbrania rozlewne

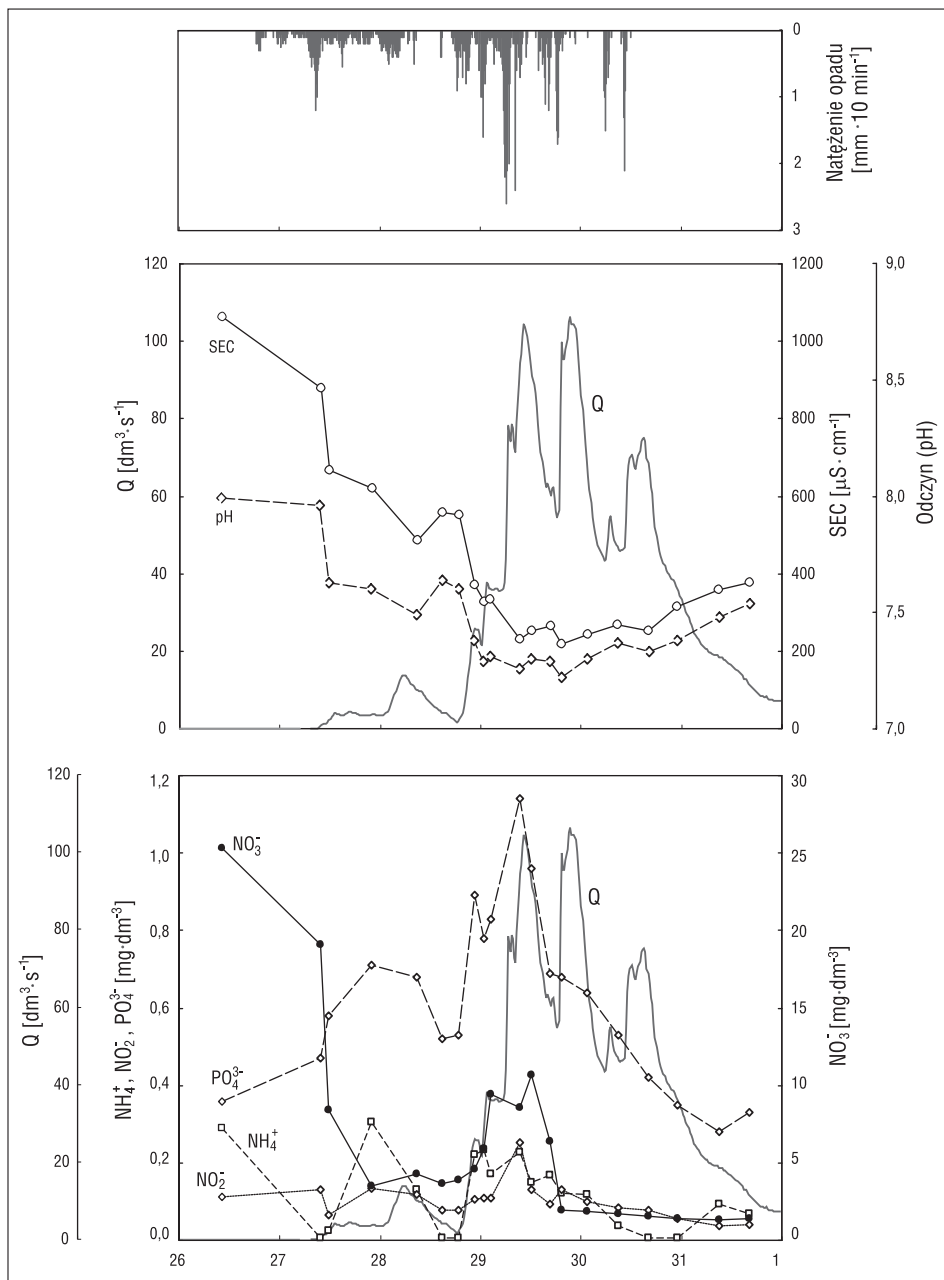
W lipcu 2004 r. w zlewni Starej Rzeki wystąpiło kilkudniowe wezbranie rozlewne, które zostało wywołane opadami o łącznej sumie 103,1 mm. Opady te były związane z długo utrzymującym się nad południową Polską frontem atmosferycznym. We wszystkich ciekach, wraz ze wzrastającym przepływem, wystąpił wyraźny spadek odczynu, przewodności (ryc. 7.10, 7.11, 7.12) oraz stężenia makroelementów, z wyjątkiem  $\text{K}^+$ . Największy spadek tych parametrów wystąpił na początku wezbrania. W czasie trwania wysokich przepływów nie ulegały one już tak dużym zmianom ze względu na dominujący udział w zasilaniu wód krótkiego krążenia oraz ze względu na silne przepłukanie pokryw w zlewni.

W Kubaleńcu, w pierwszych dniach wezbrania, wyraźnie wzrosło stężenie jonu  $\text{PO}_4^{3-}$ , natomiast spadło stężenie jonu  $\text{NO}_3^-$  – z 25,3 do 3,5  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Przyczyną spadku





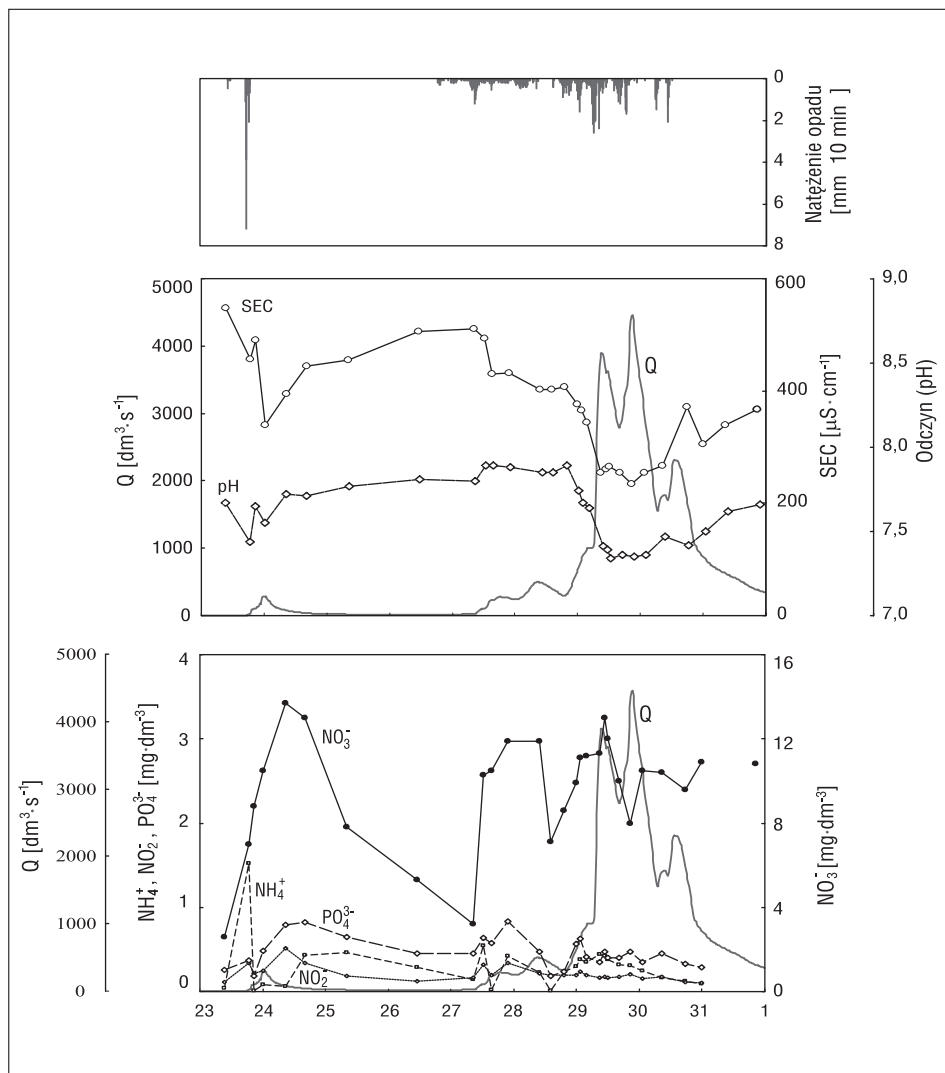
Rycina 7.9. Zmiany składu chemicznego wód Leśnego Górnego Potoku w czasie wezbrania letniego burzowego w lipcu 2003 r.  
 Figure 7.9. Changes of streamwater chemical composition of Leśny Górny Potok during summer storm floods (July 2003)



Rycina 7.10. Zmiany składu chemicznego wód Kubaleniec w czasie wezbrania rozlewnego w lipcu 2004 r.

Figure 7.10. Changes of streamwater chemical composition of Kubaleniec during long lasting frontal rainfalls (July 2004)

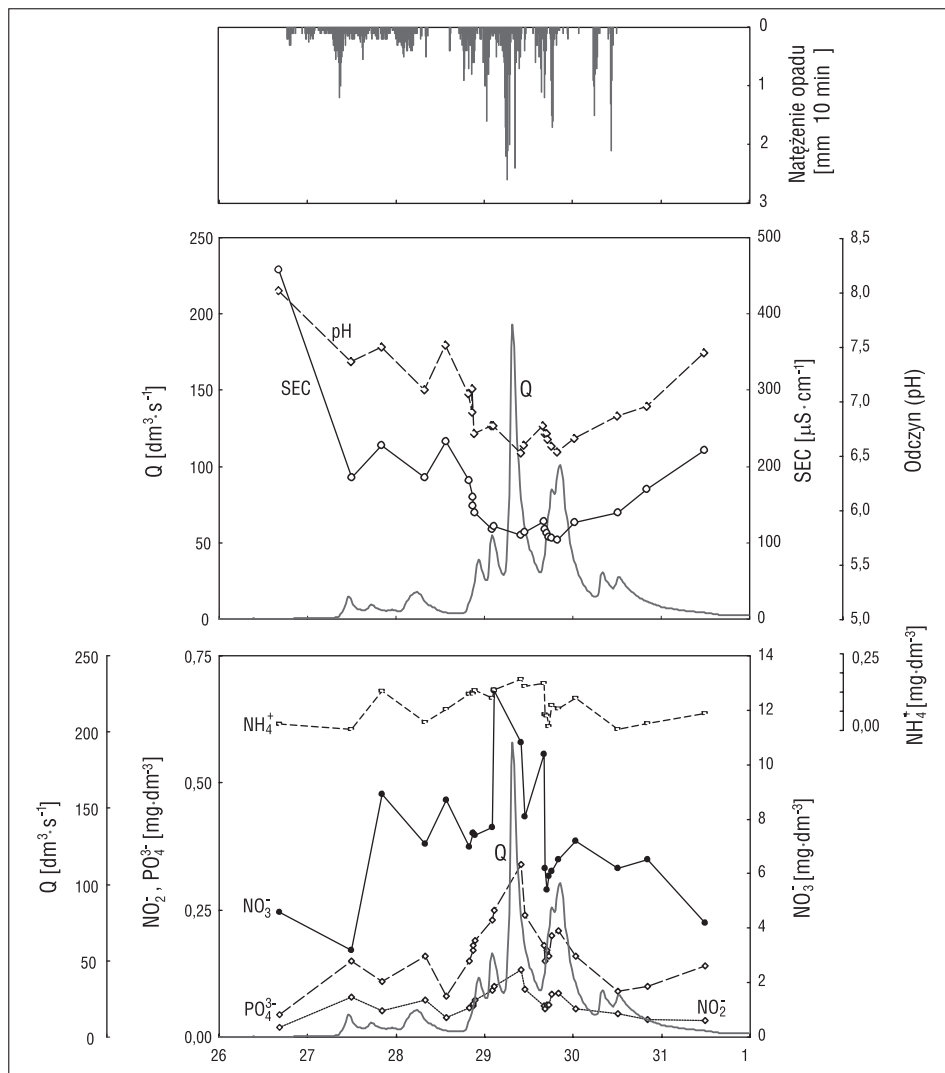
stężenia  $\text{NO}_3^-$  było rozcieńczanie zasobnych w azotany wód potoku wodami opadowymi i wodami spływu powierzchniowego. Wraz z dopływem wód śródpokrywowych w dalszym etapie wezbrania stężenia  $\text{NO}_3^-$  nieco wzrosły. Silne przemycie pokryw pod koniec wezbrania spowodowało spadek stężenia wszystkich związków biogennych w potoku.



Rycina 7.11. Zmiany składu chemicznego wód Starej Rzeki w czasie wezbrania rozlegnego w lipcu 2004 r.

Figure 7.11. Changes of streamwater chemical composition of Stara Rzeki during long lasting frontal rainfalls (July 2004)

W Starej Rzece stężenia wszystkich związków biogenych wzrastały w początkowej fazie wezbrania. Potem, pomimo znacznego wzrostu przepływu, utrzymywały się na tym samym poziomie ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ ), bądź też spadały ( $\text{NH}_4^+$ ). W Leśnym Górnym Potoku wraz ze wzrostem przepływu wzrastało stężenie wszystkich związków biogenych.



Rycina 7.12. Zmiany składu chemicznego wód Leśnego Górnego Potoku w czasie wezbrania rozlewnego w lipcu 2004 r.

Figure 7.12. Changes of streamwater chemical composition of Leśny Górny Potok during long lasting frontal rainfalls (July 2004)

### 7.2.3. Wezbrania roztopowe i roztopowo-deszczowe

W czasie wezbrań roztopowych i roztopowo-deszczowych istotnym czynnikiem warunkującym zmiany składu chemicznego wód potoków pogórskich jest stan pokryw w zlewni.

W styczniu 2003 r. w zlewni Starej Rzeki, przy głęboko przemarzniętych pokrywach, wystąpiło śródzimowe wezbranie roztopowe. Cieki zasilane były głównie drogą podziemną i powierzchniową, przemarznięta pokrywa glebowa uniemożliwiała formowanie się spływu śródpokrywowego. W Kubaleńcu i Starej Rzece wyraźnie zmalały odczyn, przewodność (ryc. 7.13, 7.14) i stężenie makroelementów, z wyjątkiem  $K^+$ . Było to wynikiem rozcieńczania wód rzecznych słabozmineralizowanymi wodami pochodzącymi z topniejącej pokrywy śnieżnej. W czasie wzrostu fali wezbraniowej zwiększała się dostawa do koryta słabozmineralizowanych wód spływu powierzchniowego (tab. 7.15), co powodowało wyraźny spadek mineralizacji wód w ciekach. Wraz ze spadkiem udziału spływu powierzchniowego w odpływie rzeczny na korzyść odpływu podziemnego, w czasie opadania fali, następował wzrost mineralizacji wód w ciekach. W Leśnym Górnym Potoku wzrost przepływu w czasie tego wezbrania był niewielki, ze względu na wolniejsze tempo tajania pokrywy śnieżnej w terenie zalesionym. Spowodowało to niewielki spadek odczynu, przewodności i stężenia makroelementów, pomimo iż wody roztopowe płynące leśnymi ścieżkami charakteryzowały się bardzo niską przewodnością (tab. 7.15).

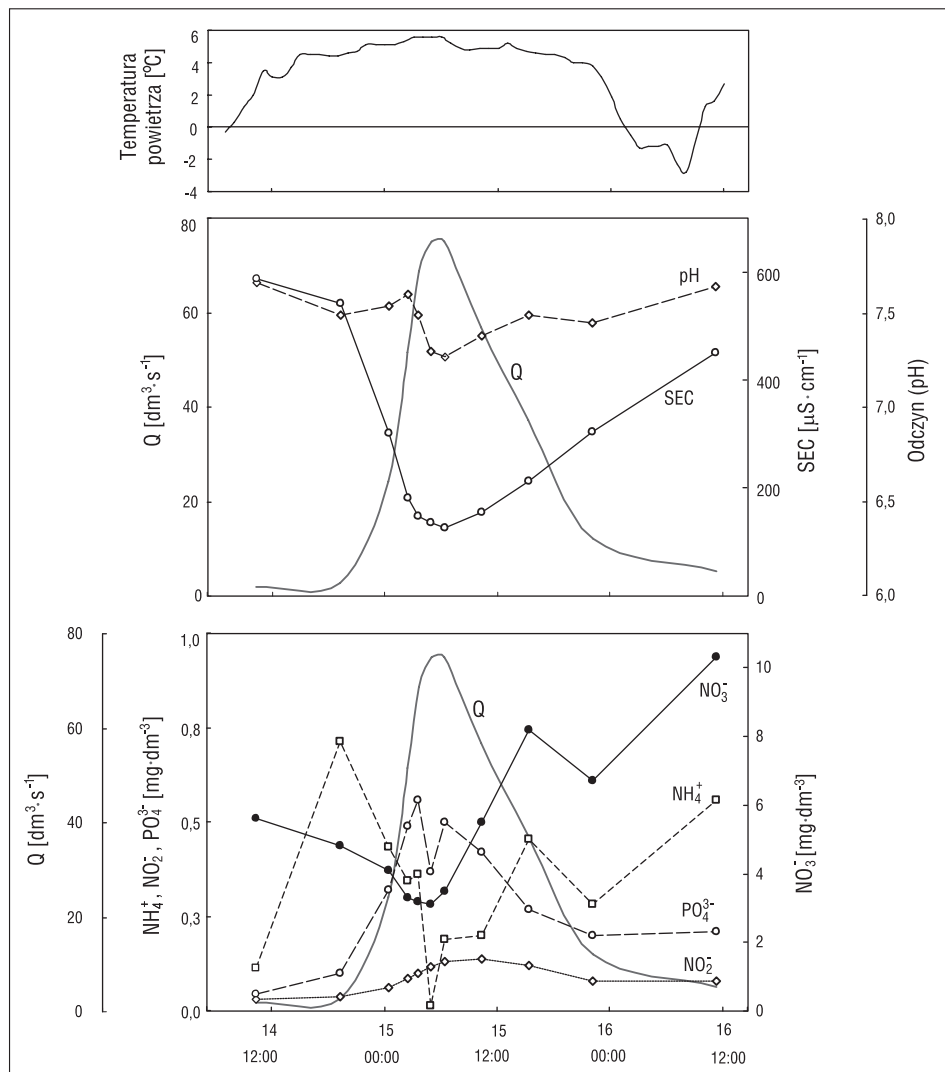
Wśród związków biogennych w Kubaleńcu i Starej Rzece wyraźnie wzrastało stężenie  $PO_4^{3-}$ , co wynikało z wysokiej ich zawartości w wodach spływu powierzchniowego, płynących po gruntach ornych (tab. 7.15). Warto zwrócić uwagę na spadek stężenia jonu  $NH_4^+$  w Kubaleńcu i Starej Rzece, pomimo wysokiej zawartości tego związku w wodach spływu powierzchniowego. Spadkowi temu towarzyszył wzrost stężenia jonu  $NO_2^-$ , a po pewnym czasie – także  $NO_3^-$ . Prawdopodobnie było to związane z procesami nityfikacyjnymi zachodzącymi w potokach: utlenianiem jonu  $NH_4^+$  do  $NO_2^-$ , a następnie do  $NO_3^-$ . W Leśnym Górnym Potoku nie wystąpił wyraźny wzrost stężenia związków biogennych – stężenie jonu  $PO_4^{3-}$  przez cały czas trwania wezbrania było poniżej granicy oznaczalności. Związane było to z niewielkim udziałem wód roztopowych w zasilaniu potoku, a także z niską zawartością związków biogennych w wodach roztopowych (tab. 7.15).

Tabela 7.15. Cechy fizykochemiczne wód spływu powierzchniowego w zlewni Kubaleńca i Leśnego Górnego Potoku

Table 7.15. Physico-chemical characteristics of surface runoff water in the Kubaleniec and Leśny Górny Potok catchment

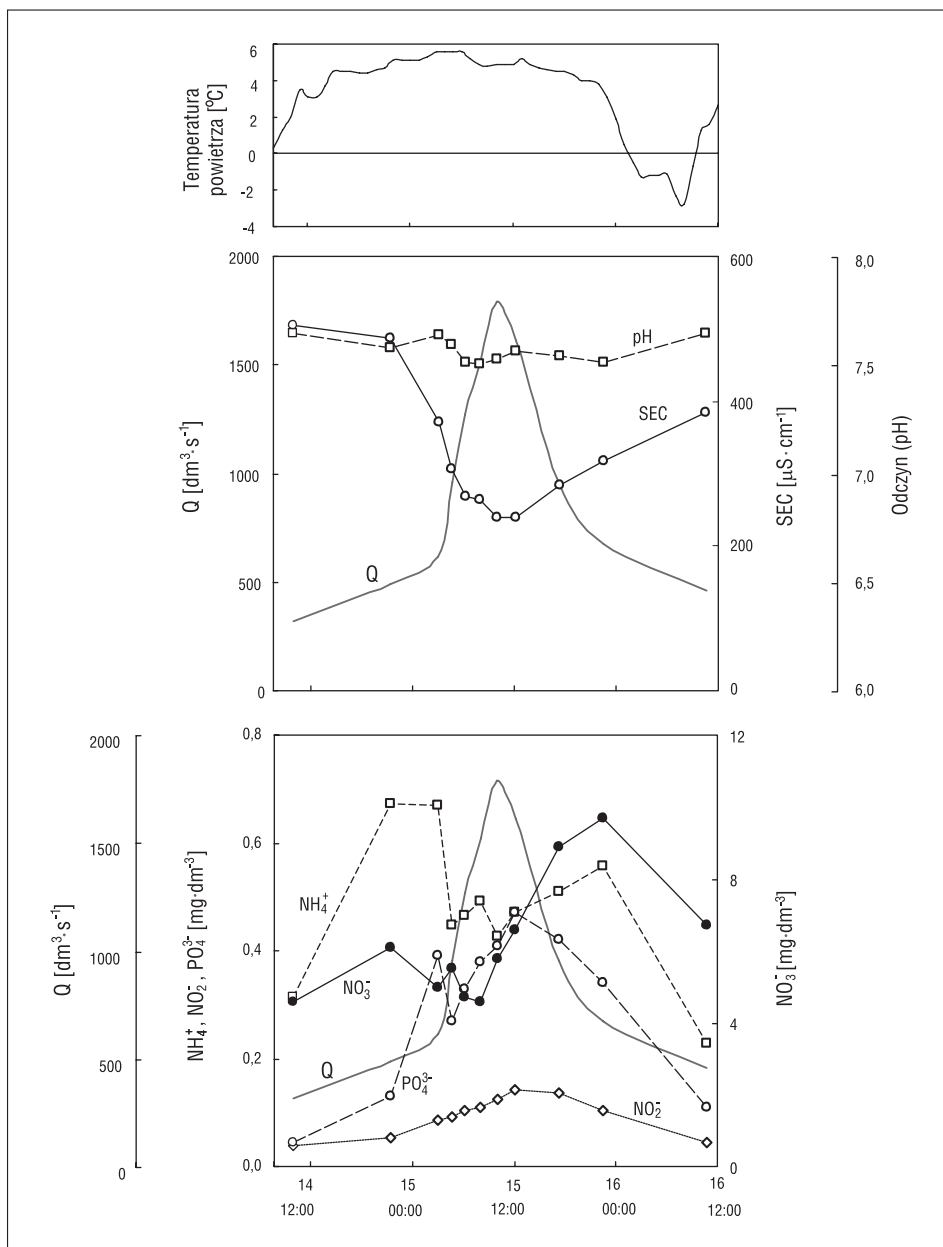
Zlewnia	Użytkowanie ziemi	Czas	pH	SEC [ $\mu S \cdot cm^{-1}$ ]	$NH_4^+$	$NO_2^-$	$NO_3^-$	$PO_4^{3-}$
					[ $mg \cdot dm^{-3}$ ]			
Kubaleniec	łąka - 1	15.01.03 09:00	7,29	147,0	0,172	0,122	5,5	0,44
	łąka - 2	15.01.03 09:05	—	82,4	0,189	0,134	4,9	0,46
	grunty orne - 1	15.01.03 09:10	5,78	73,0	1,390	0,224	12,5	0,71
	grunty orne - 2	15.01.03 09:15	5,51	107,3	2,270	0,578	24,6	0,71
	grunty orne - 3	15.01.03 13:50	5,84	81,6	0,960	0,158	12,6	0,49
Leśny Górny Potok	las	15.01.03 08:30	6,03	81,9	0,178	0,049	7,8	0,20

W marcu 2003 r. w zlewni Starej Rzeki wystąpiło wezbranie roztopowo-deszczowe, które trwało kilka dni. W początkowej fazie wezbrania pokrywy w zlewni były przemarznęte – woda roztopowa płynęła po śniegu i lodzie. W miarę upływu czasu, na terenach niezalesionych: w zlewni Kubaleńca i Starej Rzeki, zaczął odsłaniać się grunt.



Rycina 7.13. Zmiany składu chemicznego wód Kubaleńca w czasie wezbrania roztopowego z przemarznęłą pokrywą glebową w styczniu 2003 r.

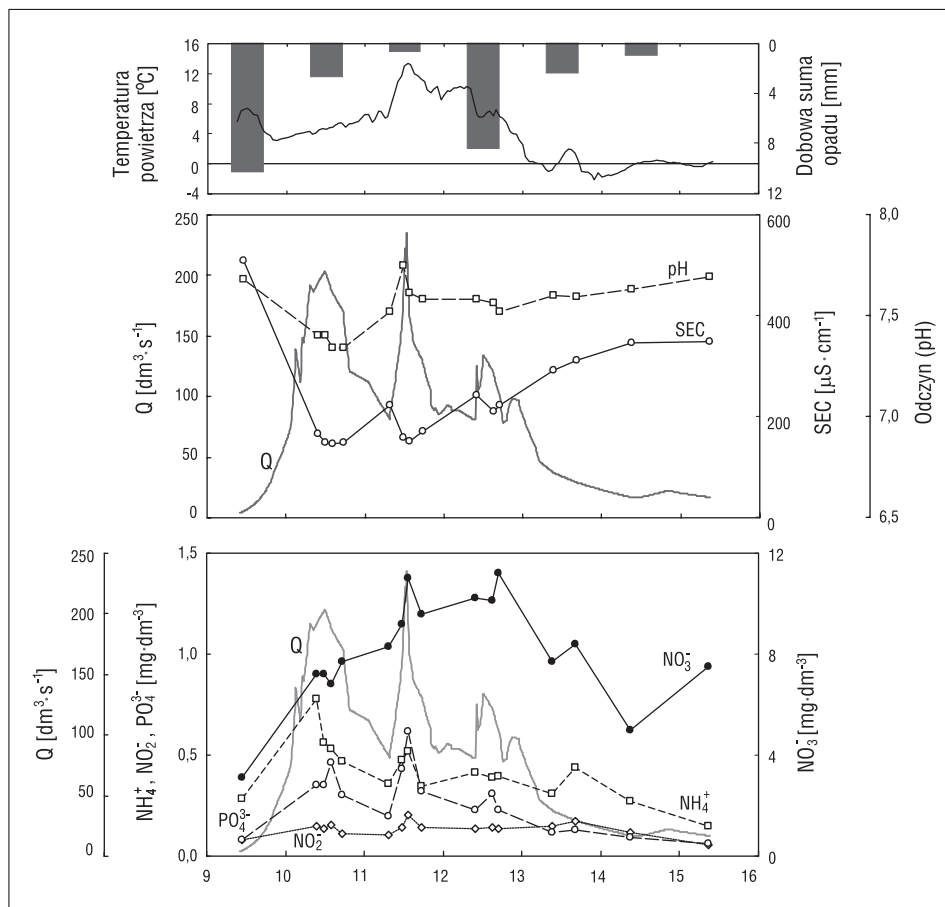
Figure 7.13. Changes of streamwater chemical composition of Kubaleniec during a snowmelt flood event with frozen soil cover (January 2003)



Rycina 7.14. Zmiany składu chemicznego wód Starej Rzeki w czasie wezbrania roztopowego z przemrzniętą pokrywą glebową w styczniu 2003 r.

Figure 7.14. Changes of streamwater chemical composition of Stara Rzeka during snowmelt flood event with frozen soil cover (January 2003)

Ważnym momentem w trakcie tego wezbrania było docięcie się strug wód roztopowych do rozmarzającej gleby (11 marca). Poskutkowało to wzrostem odczynu i przewodności wody zarówno w potokach, jak i w spływie powierzchniowym (ryc. 7.15, 7.16, 7.17). Podobne zjawisko zaobserwował B. Janiec (1997) w wodach roztopowych Rostocza Zachodniego. W ciągu kolejnych dni wezbrania w Kubaleńcu i Starej Rzece zmniejszało się stężenie  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ , natomiast wzrastało stężenie  $\text{NO}_3^-$ . Wzrost  $\text{NO}_3^-$  w drugiej fazie wezbrania wynikał z wypłukiwania tego jonu przez wody roztopowe coraz głębiej infiltrujące w rozmarzające pokrywę. W wodach spływu powierzchniowego w tym czasie również wzrastały stężenia  $\text{NO}_3^-$  (ryc. 7.17). W Leśnym Górnym Potoku wezbranie



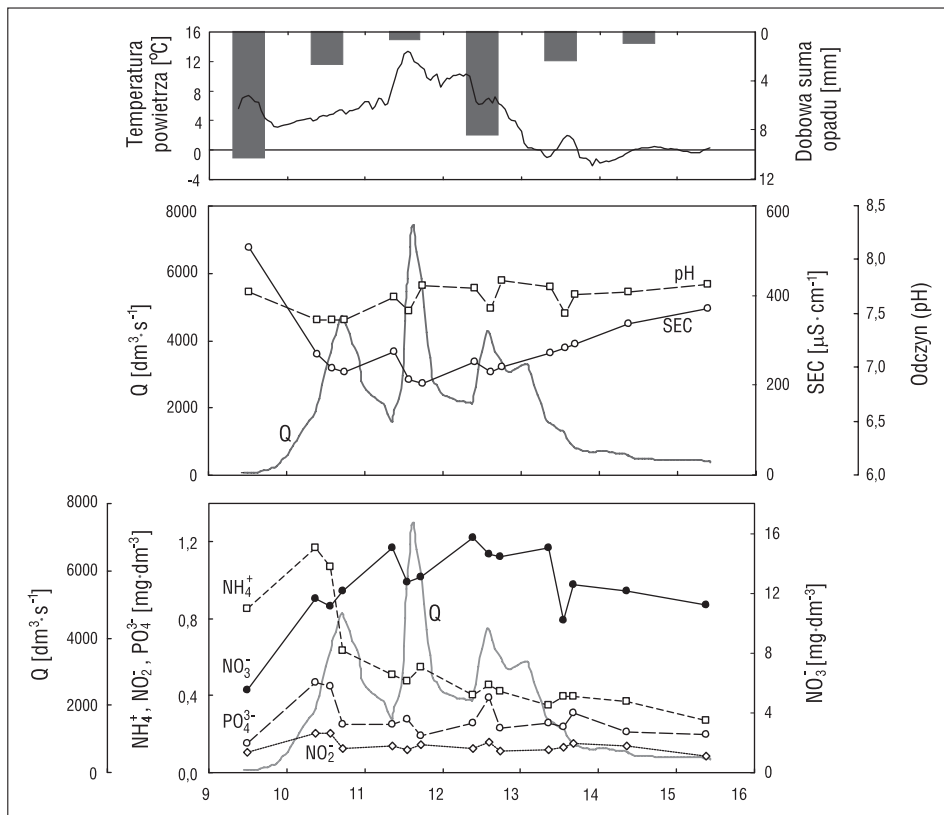
Rycina 7.15. Zmiany składu chemicznego wód Kubaleńca w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2003 r.

Figure 7.15. Changes of chemical composition of the Kubaleńiec streamwater during several-day snowmelt flood (March 2003)



rozpoczęło się z dwudniowym opóźnieniem w stosunku do wezbrania w Kubaleńcu i Starej Rzece (ryc. 7.18). Impulsem, który spowodował topnienie pokrywy śnieżnej w zlewni Leśnego Górnego Potoku, był znaczny wzrost temperatury powietrza (od kilku do kilkunastu °C) oraz opady deszczu. Wraz ze wzrostem przepływu w potoku spadały: odczyn, przewodność i stężenie makroelementów, z wyjątkiem  $K^+$ , wzrastało natomiast stężenie związków biogenych, najwyższe ich stężenie wystąpiło w pierwszych dniach wezbrania. W kolejnych dniach wezbrania stężenie związków biogenych stopniowo zmniejszało się.

W 2004 r. w zlewni Starej Rzeki wystąpiło kilka wezbrań roztopowych i roztopowo-deszczowych. Pokrywy w zlewni w tym czasie nie były przemarznięte, dlatego wody roztopowe mogły swobodnie infiltrować w głąb i nasycać się zawartymi w pokrywach związkami. Wystąpienie spływu śródpokrywowego spowodowało,

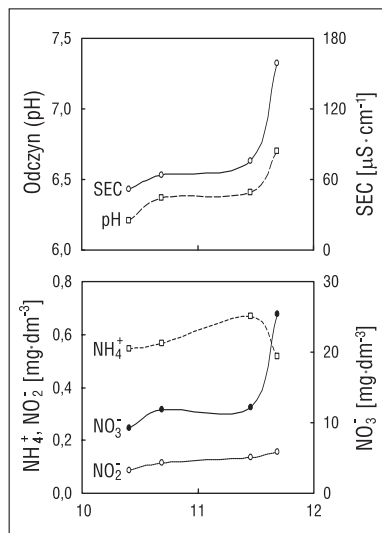


Rycina 7.16. Zmiany składu chemicznego wód Starej Rzeki w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2003 r.

Figure 7.16. Changes of streamwater chemical composition of the Stara Rzeke during several-day snowmelt flood (March 2003)

że przewodność oraz stężenie makroelementów i  $\text{NO}_3^-$ , pochodzących z ługowania i przemycania pokryw glebowo-zwietrzelinowych, były wyższe niż w czasie wezbrań roztopowych przy przemarzniętej pokrywie glebowej (zob. ryc. 7.6). W czasie kolejnych wezbrań wartości tych parametrów wyraźnie malały, co wynikało z coraz większego przemycania pokryw (ryc. 7.19).

Warto zwrócić uwagę na zmiany składu chemicznego wód w czasie wezbrań roztopowych, które trwały kilka dni (ryc. 7.20, 7.21). Właściwości fizykochemiczne wód wykazywały wtedy charakterystyczny rytm dobowy: wraz ze wzrostem tempa topnienia pokrywy śnieżnej w ciągu dnia (dodatknie temperatury powietrza) wzrastało natężenie przepływu w cieku, a malała przewodność oraz stężenie makroelementów, natomiast w nocy, wraz ze spadkiem tempa topnienia (niższe, czasem ujemne temperatury powietrza) – natężenie przepływu malało, a przewodność i stężenie makroelementów wzrastało. Dobowy rytm stężenia wykazywały także związki biogenne. Wraz ze wzrostem przepływu w ciągu dnia wyraźnie wzrastało stężenie  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ , natomiast stężenie  $\text{NO}_3^-$  w początkowej fazie kilkudniowych wezbrań wzrastało w czasie dziennego przyboru wody w potokach, natomiast pod koniec wezbrania malało, na skutek bardzo silnego przepłukania pokryw.

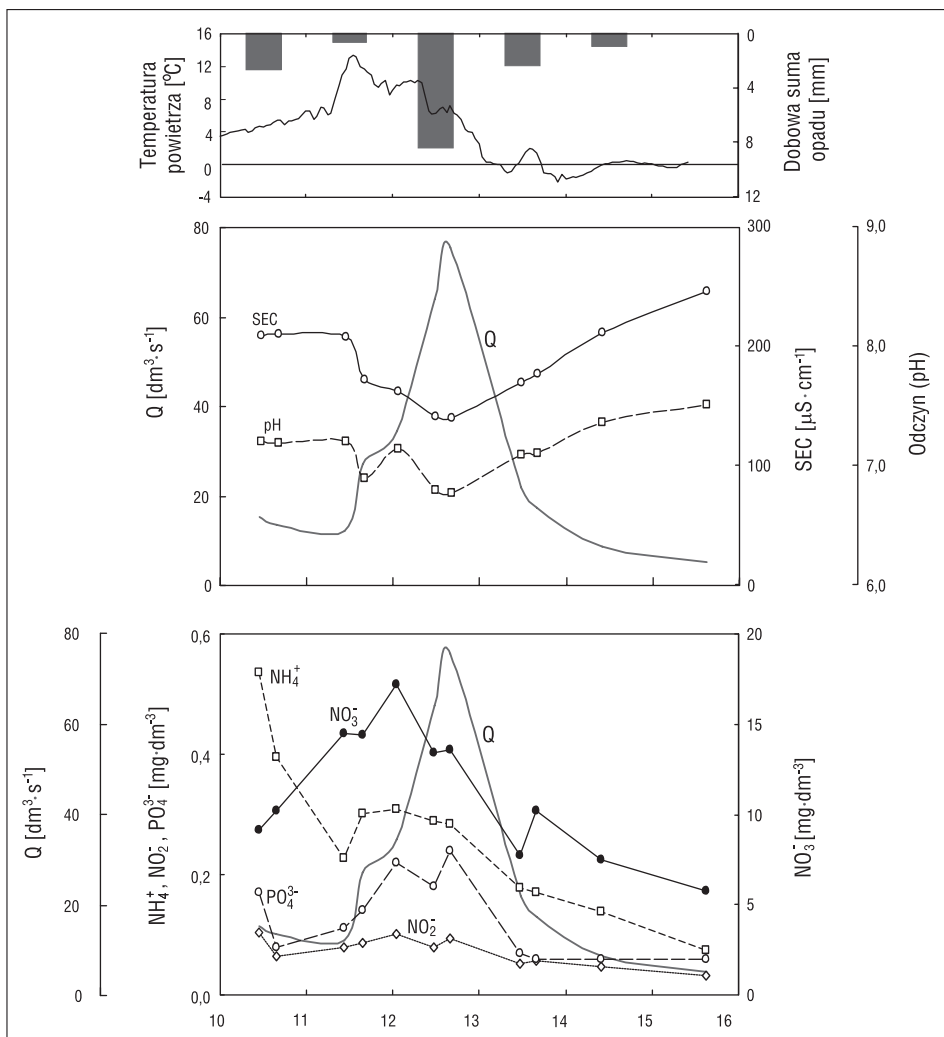


Rycina 7.17. Zmiany składu chemicznego wód spływu powierzchniowego na gruntach ornych w zlewni Kubaleńca w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2003 r.

Figure 7.17. Changes of chemical composition of the surface runoff on the arable land of the Kubaleniec catchment during several-day snowmelt flood (March 2003)

#### 7.2.4. Związek składu chemicznego z natężeniem przepływu w zlewniach różnie użytkowanych

W czasie indywidualnych wezbrań związek składu chemicznego wód potoków pogórskich z przepływem przyjmował formę histerezy, tzn. stężenie jonów było inne w fazie wznoszącej i opadającej. Wynikało to z dostawy do koryta w zmieniających się proporcjach wód różnej genezy, a zatem i wód o różnych właściwościach fizykochemicznych. Zwrot histerezy (zgodny lub przeciwny do ruchu wskazówek zegara) informował o tym, czy ekstremalne stężenie jonów (minimalne lub maksymalne) występowało po, czy przed kulminacją wezbrania. Im większa była różnica właściwości fizykochemicznych wód w trakcie wznoszenia i opadania fali wezbraniowej, tym pętla histerezy była szersza. Zjawisko histerezy było opisane przez wielu autorów już od początku lat 60. XX wieku (Hendrickson, Krieger 1960, Toler 1965, Foster 1978, Evans, Davies 1998, Rose 2003).



Rycina 7.18. Zmiany składu chemicznego wód Leśnego Górnego Potoku w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2003 r.

Figure 7.18. Changes of streamwater chemical composition of the Leśny Górny Potok during several-day snowmelt flood (March 2003)

W czasie wezbrań burzowych obserwowano różne zwroty histerezy większości parametrów fizykochemicznych w wodach Leśnego Górnego Potoku i Kubaleńca. Związane było to z odmiennym krążeniem wód w zlewni zalesionej i rolniczej. W zlewni Leśnego Górnego Potoku, o szybkim wzroście przepływu w cieku decydował spływ śródpokrywo- wy. Docieranie wód opadowych do koryta Leśnego Górnego Potoku ułatwiała gęsta sieć



Fot. 7.1. Ścieki bytowo-gospodarcze w zlewni Starej Rzeki odprowadzane są często do przydrożnych rowów skąd bezpośrednio docierają do rzek (fot. J. Raczak)

Photo. 7.1. Domestic sewage are usually transported to streams by the system of drainage ditches in the catchment of the Stara Rzeki (photo by J. Raczak)



Fot. 7.2. Debrze i wcioty w zlewni Leśnego Górnego Potoku odpowiedzialne są za szybką dostawę wód spływu śródpokrywowego do potoku (fot. M. Żelazny)

Photo 7.2. Network of dingles and v-shape valleys are responsible for a fast movement of the subsurface water into the Leśny Górny Potok stream (photo by M. Żelazny)





Fot. 7.3. Drogi leśne i ścieżki w zlewni Leśnego Górnego Potoku są dogodnymi miejscami formowania się spływu powierzchniowego w okresie wezbraniowym (fot. M. Żelazny)

Photo 7.3. Forest paths are the convenient places for forming the overland flow during flood events in the Leśny Górny Potok catchment (photo by M. Żelazny)



Fot. 7.4. Drogi polne i bruzdy oddzielające działki w zlewni Kubaleńca umożliwiają szybki spływ powierzchniowy w czasie letnich wezbrań deszczowych (fot. J. Raczak)

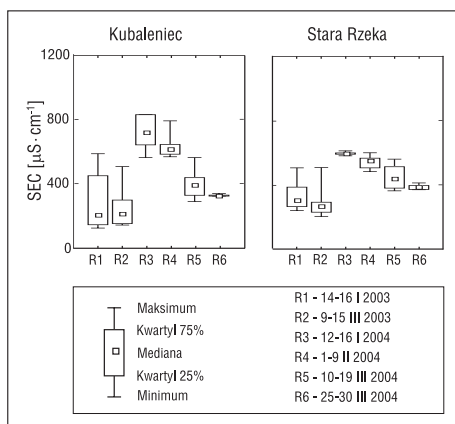
Photo 7.4. Field paths and furrows separating plots are conducive to form a quick overland flow during summer rain event in the Kubaleniec catchment (photo by J. Raczak)

debrzy i wciósów, drenujących pokrywę w górnej części zlewni (fot. 7.2). Spływ powierzchniowy odgrywał niewielką rolę w kształtowaniu hydrogramu wezbrań i pojawiał się dopiero po odpowiednim nasączeniu pokryw zwietrzelinowych wodami opadowymi. Najdogodniejszymi drogami spływu powierzchniowego były leśne ścieżki (fot. 7.3). Skład chemiczny wód Leśnego Górnego Potoku reagował z opóźnieniem na zmiany przepływu, ekstremalne stężenia jonów (maksymalne i minimalne) występowały po kulminacji wezbrania (ryc. 7.22). Opóźniona reakcja składu chemicznego wód wynikała z przemywania pokryw zwietrzelinowych infiltrującymi wodami opadowymi i wypłukiwaniem zawartych w nich związków (*flushing effect*) oraz pojawieniem się – po nasączeniu pokryw – spływu powierzchniowego. Histerezy przewodności wody i stężenia jonów, które zmniejszały stężenie wraz ze wzrostem przepływu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), przyjmowały zwrot zgodny z ruchem wskazówek zegara.

W przypadku jonów, których stężenia zwiększały się wraz ze wzrostem przepływu ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), zwrot histerez był przeciwny do ruchu wskazówek zegara.

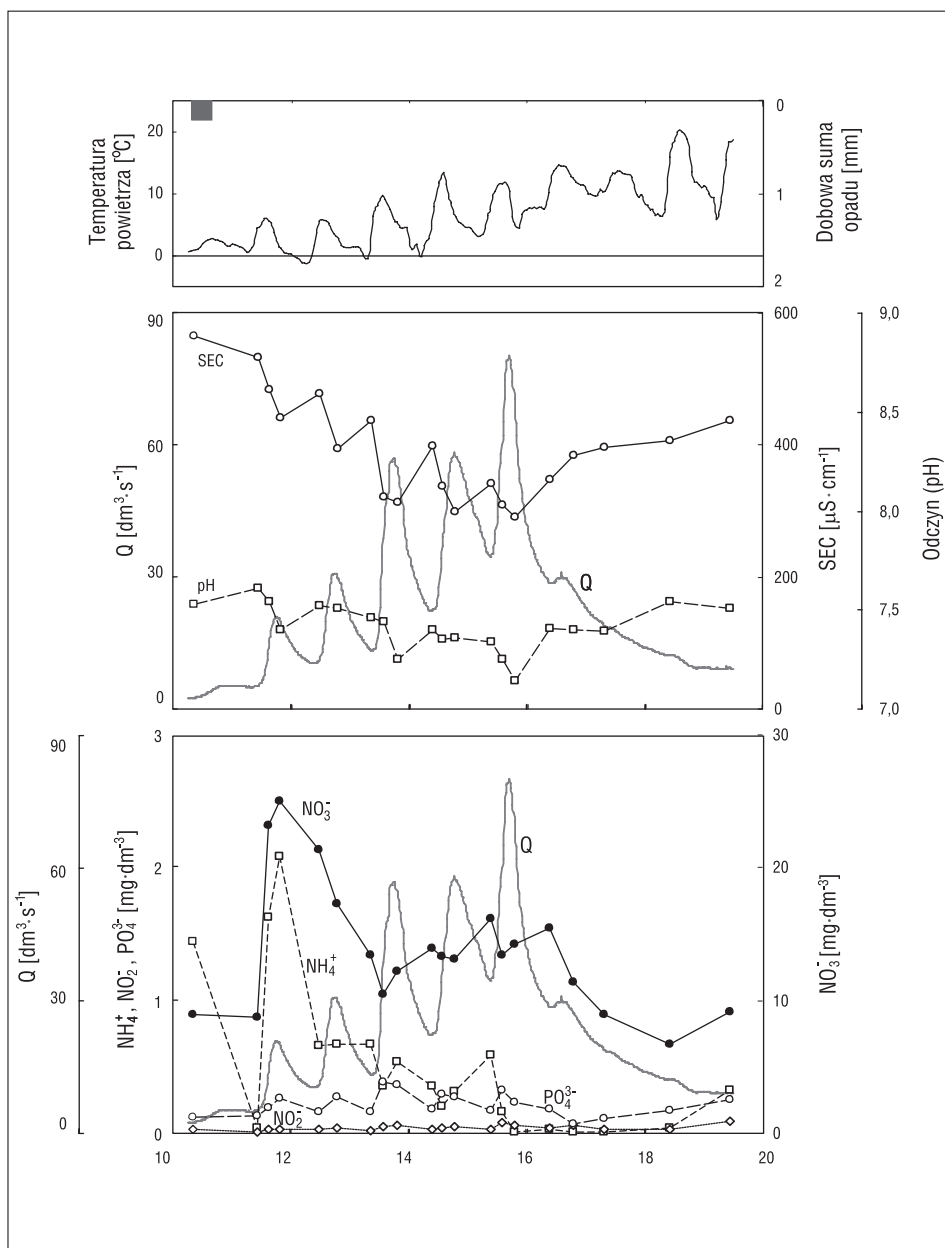
Reakcja składu chemicznego wód Kubaleńca na wzrost natężenia przepływu w czasie wezbrań letnich burzowych była inna, ekstremalne stężenie jonów występowało przed kulminacją wezbrania. Gęsta sieć dróg polnych oraz bruzd oddzielających poszczególne działki w zlewni Kubaleńca powodowała szybki spływ powierzchniowy (fot. 7.4). W dnie płaskodennej, aluwialnej doliny wyorywane były bruzdy, którymi woda z pól uprawnych bezpośrednio wpływała do cieku. Histerezy przewodności i jonów, które zmniejszały stężenia wraz ze wzrostem natężenia przepływu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), przyjmowały zwrot przeciwny do ruchu wskazówek zegara. Według K.J. Gregory'ego i D.E. Walling'a (1973), taki zwrot histerez świadczy o bardzo dobrym powiązaniu hydraulicznym pomiędzy wodami gruntowymi a ciekim, tzn. płytkie wody aluwialne bardzo szybko reagują na infiltrację. W przypadku jonów, które zwiększały stężenia wraz ze wzrostem natężenia przepływu ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) zwrot histerez był zgodny z ruchem wskazówek zegara (ryc. 7.22).

Zmiany składu chemicznego w wodach Starej Rzeki, która drenowała zlewnię o złożonej strukturze zagospodarowania, w czasie wezbrań letnich były zróżnicowane – raz przypominały reakcję Leśnego Górnego Potoku, raz – Kubaleńca (ryc. 7.22). Związane było to z różnym czasem dotarcia do przekroju zamykającego zlewnię wód z poszcze-



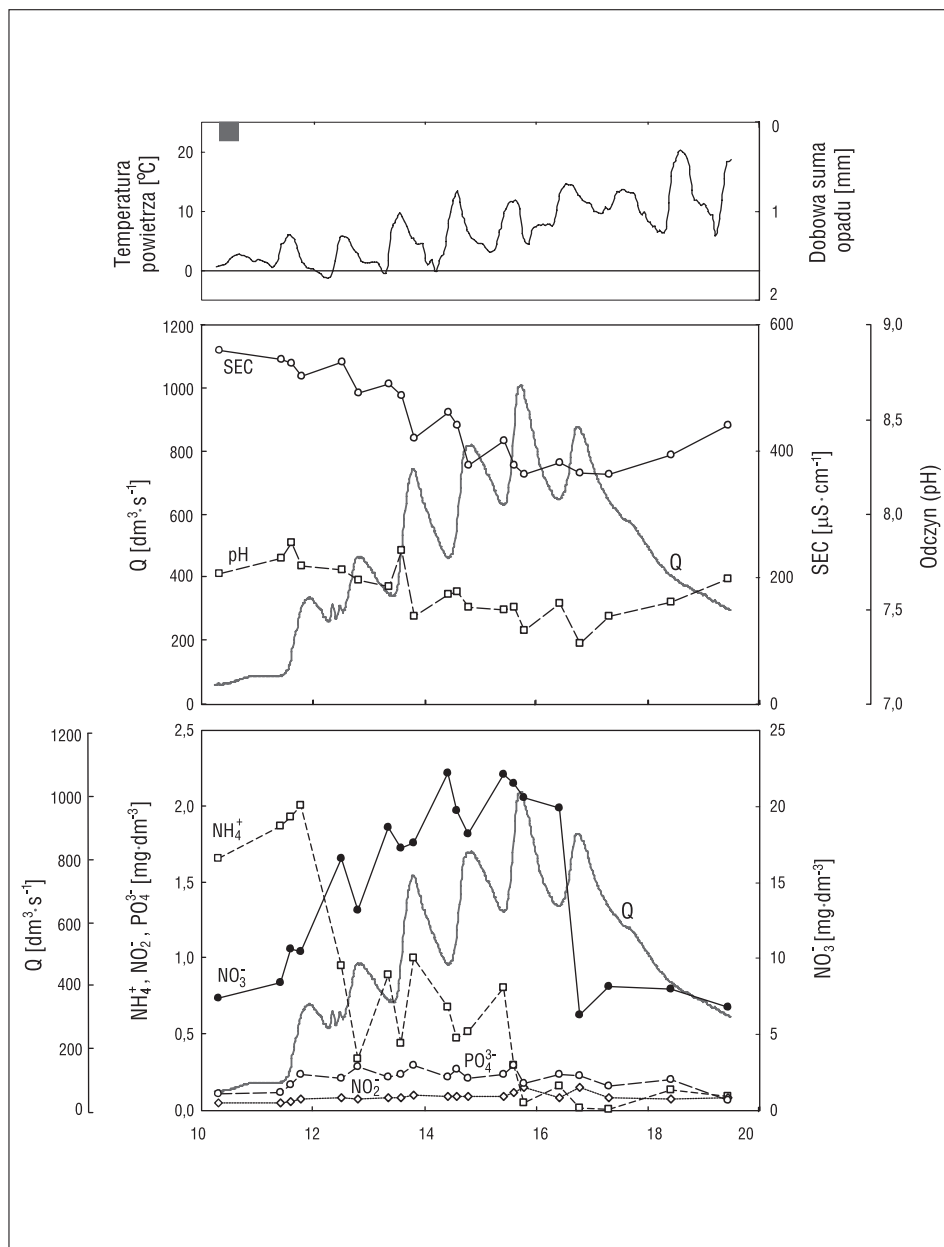
Rycina 7.19. Charakterystyka statystyczna przewodności wody w Kubaleńcu i Starej Rzece w czasie wezbrań roztopowych z przemarzniętą (R1, R2) i nieprzemarzniętą (R3, R4, R5, R6) pokrywą glebową

Figure 7.19. Statistical characteristics of electrical conductivity of the Kubaleniec and Stara Rzeka streamwater during snowmelt events with frozen (R1, R2) and unfrozen (R3, R4, R5, R6) soil cover



Rycina 7.20. Zmiany składu chemicznego wód Kubaleńca w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2004 r.

Figure 7.20. Changes of streamwater chemical composition of the Kubaleniec during several-day snowmelt flood (March 2004)



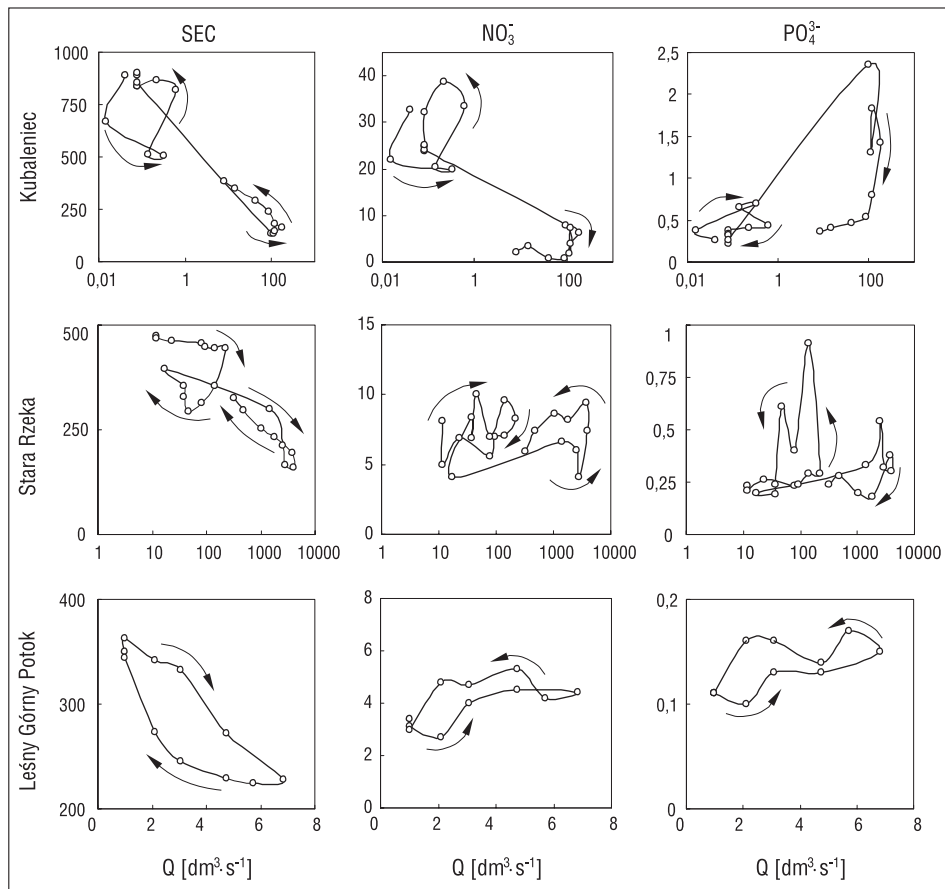
Rycina 7.21. Zmiany składu chemicznego wód Starej Rzeki w czasie kilkudniowego wezbrania roztopowego w marcu 2004 r.

Figure 7.21. Changes of streamwater chemical composition of the Stara Rzeki during several-day snowmelt flood (March 2004)



gólnych zlewni cząstkowych. Skomplikowane pętle histerezy, według D.E. Walling'a i B.W. Webb'a (1980), są charakterystyczne dla zlewni dużych i heterogenicznych.

W czasie wezbrań roztopowych pętle histerez przewodności i makroelementów były węższe, niż w czasie wezbrań burzowych, szczególnie wtedy, gdy pokrywa glebowa była przemarznięta (ryc. 7.23). Miało to związek z mniej dynamicznymi zmianami dostawy do koryta wód spływu powierzchniowego i śródpokrywowego. W czasie roztopów nie obserwowano także wyraźnych różnic w zwrotach histerez w Leśnym Górnym Potoku i Kubaleńcu. Było to związane z podobnym krążeniem wód w okresie roztopowym

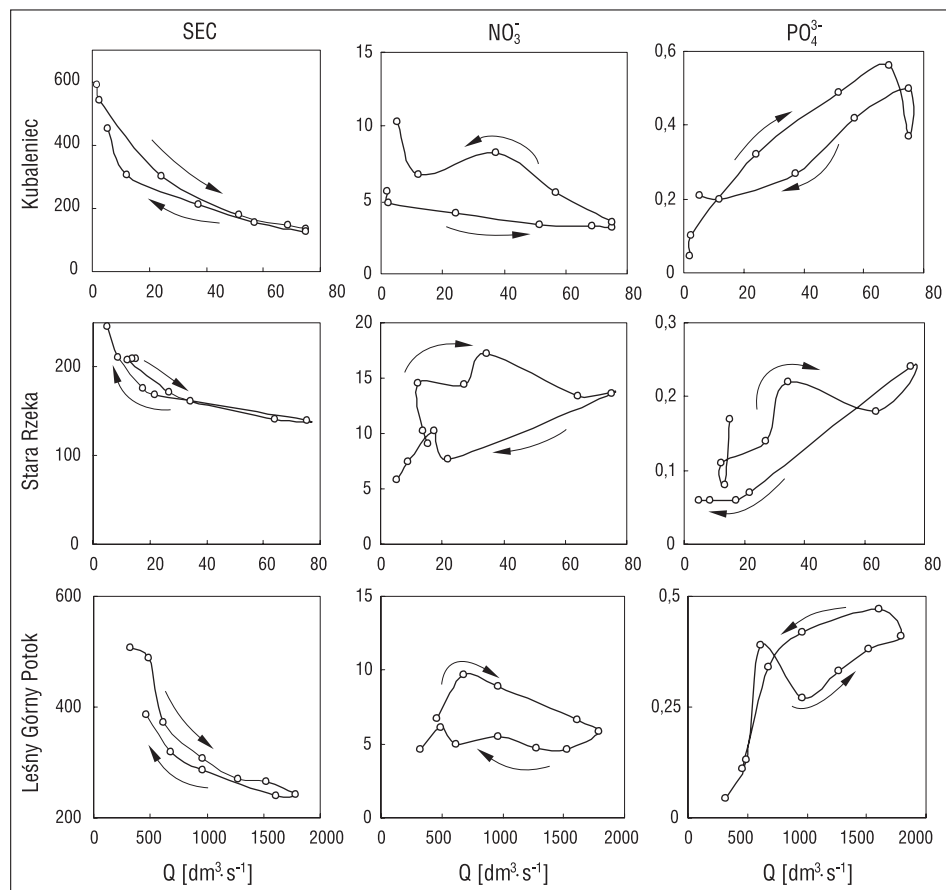


Rycina 7.22. Związek przewodności [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] oraz stężenia jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] z przepływem [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] w Kubaleńcu, Starej Rzece i Leśnym Górnym Potoku w czasie wezbrań letnich burzowych

Figure 7.22. Conductivity [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] and concentration of  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  ions [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] vs. discharge [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] of Kubaleńcu, Stara Rzeka and Leśny Górny Potok during summer storm flood events

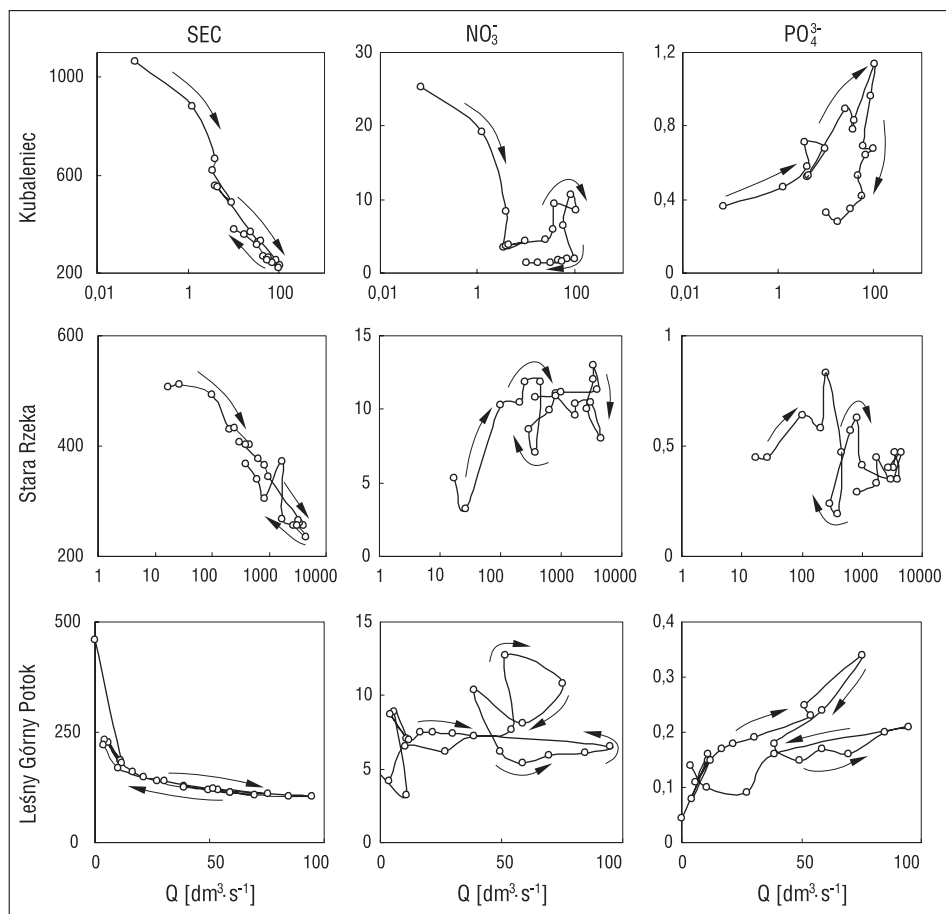
w zlewni zalesionej i rolniczej. Spływ śródpokrywowy, który różnicował chemogram w czasie wezbrań burzowych w różnie użytkowanych zlewniach, odgrywał niewielką rolę w czasie wezbrań roztopowych. Przy przemarzniętych pokrywach jego udział w zasilaniu cieków był znikomy, natomiast przy pokrywach nieprzemarzniętych i nasączonych wodą jego dostawa do cieków charakteryzowała się niewielką zmiennością w czasie trwania wezbrania.

Także podczas wezbrań wywołanych opadem rozlewnym, którego natężenie umożliwiało powolną infiltrację wód w głąb pokryw, zanikały różnice w krążeniu wód. pomiędzy zlewniami o różnym użytkowniui ziemi (ryc. 7.24).



Rycina 7.23. Związek przewodności [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] oraz stężenia jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] z przepływem [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] w Kubaleńcu, Starej Rzece i Leśnym Górnym Potoku w czasie wezbrań roztopowych.

Figure 7.23. Conductivity [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] and concentration of  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  ions [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] vs. discharge [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] of Kubaleńiec, Stara Rzeka and Leśny Górny Potok during snowmelt flood events



Rycina 7.24. Związek przewodności [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] oraz stężenia jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] z przepływem [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] w Kubaleńcu, Starej Rzece i Leśnym Górnym Potoku w czasie wezbrań rozlewnych

Figure 7.24. Conductivity [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] and concentration  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  ions [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] vs. discharge [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] of Kubaleńiec, Stara Rzeza and Leśny Górny Potok during long lasting frontal rainfalls